

Análisis

Exploración experimental de la ceniza de pollinaza mediante el diseño centrado en el material

Experimental Exploration of Poultry Litter Ash Through Material-Driven Design

DOI: <https://doi.org/10.51378/reuca.vi22.10184>

Fecha de recibido: 8 de julio de 2025

Fecha de aceptado: 21 de octubre de 2025

Jazmín Stephannie Velásquez Clemente
Maestra en Diseño de Productos y Servicios
Universidad Centroamericana José Simeón Cañas
El Salvador
jazminsvelasquez@gmail.com
00402709@uca.edu.sv
ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-1455-4496>

David Ernesto Guevara Salazar
Maestro en Diseño de Productos y Servicios
Universidad Centroamericana José Simeón Cañas
El Salvador
david.arq14@gmail.com
00335823@uca.edu.sv
ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-6408-3566>



Resumen

Esta investigación explora el potencial de la ceniza de pollinaza como material alternativo dentro del ámbito del diseño de productos decorativos. Partiendo del marco conceptual del Diseño Guiado por el Material (*Material Driven Design*, MDD), se realizaron experimentos exploratorios bajo condiciones controladas, empleando proporciones definidas y registros sistemáticos para analizar propiedades emergentes como textura, porosidad, adherencia, fraguado y respuesta visual. Las pruebas incluyeron mezclas con aglutinantes inorgánicos y naturales, destacando el desempeño favorable de la mezcla cemento blanco y ceniza de pollinaza en proporción (1:1), que presentó buena manejabilidad, cohesión y acabado estético. Los resultados permitieron identificar tanto oportunidades como limitaciones para su uso en contextos decorativos no estructurales. Más que una solución definitiva, este estudio constituye una exploración inicial, que busca comprender la interacción entre residuos agroindustriales y procesos de diseño, aportando una mirada crítica y transicional hacia la economía circular. A través del MDD, se enfatiza el valor del material como agente de experimentación y reflexión en el diseño contemporáneo.

Palabras clave: ceniza de pollinaza, diseño guiado por el material, materiales alternativos, economía circular, diseño experimental.

Abstract

This research investigates the potential of poultry litter ash as an alternative material within the field of decorative product design. Applying the Material-Driven Design (MDD) methodology, exploratory experiments were conducted under controlled conditions, using defined proportions and systematic documentation to analyze emergent properties such as texture, porosity, adhesion, setting behavior, and visual response. The tests included mixtures with both inorganic and natural binders, with the white cement and poultry litter ash blend in a 1:1 ratio showing favorable results in terms of workability, cohesion, and aesthetic finish. The findings reveal both opportunities and limitations for its application in non-structural decorative contexts. Rather than offering a definitive solution, this study represents an initial exploration aimed at understanding the interaction between agro-industrial residues and design processes. It contributes a critical and transitional perspective toward circular economy practices by emphasizing the material's value as a driver of experimentation and reflection in contemporary design.

Keywords: *poultry litter ash, material driven design, alternative materials, circular economy, experimental design.*

1. Introducción

En El Salvador, el sector avícola tiene una alta relevancia económica y ambiental. De acuerdo con la Intendencia Económica de la Superintendencia de Competencia (2022), en su *Estudio sobre las condiciones de competencia en la producción y distribución de huevos y carne de pollo en El Salvador*, el país cuenta con 621 granjas avícolas registradas, de las cuales el 64 % se dedica a la producción de huevos y el 26 % al engorde de aves para carne. El departamento de La Libertad concentra más del 21 % de las granjas de engorde, mientras que las de postura (productoras de huevo) se ubican principalmente en San

Salvador y Cuscatlán. Este nivel de actividad refleja una producción continua de subproductos, entre los que destaca la pollinaza, compuesta por excretas avícolas, restos alimenticios, plumas y material de cama (como aserrín o cascarilla de arroz), acumulados en los sistemas de crianza intensiva de aves. El volumen generado por este residuo representa un desafío significativo para la gestión ambiental del país.

Fahimi *et al.* (2020) señalan que cuando la pollinaza no se recicla directamente como fertilizante, suele incinerarse, lo que genera un volumen reducido de ceniza de pollinaza, (Figura 1) rica en fósforo (P) y potasio (K), la cual puede utilizarse como materia prima secundaria

para la producción de fertilizantes fosfatados. Codling *et al.* (2002) fueron pioneros en demostrar que la ceniza de pollinaza también puede aprovecharse como fuente alternativa de fósforo para cultivos agrícolas, especialmente en trigo, maíz y soya. Los autores destacaron que su uso podría mitigar los impactos

ambientales asociados a la eliminación inadecuada de los residuos avícolas. En la misma línea, Acar (2023) confirma la viabilidad de utilizar la ceniza proveniente de la incineración de estiércol avícola como sustituto parcial de los fertilizantes fosfatados convencionales, dada su composición mineral.

Figura 1

Diagrama del proceso de generación de la ceniza de pollinaza en la empresa colaboradora.

¿Cómo se produce la ceniza?



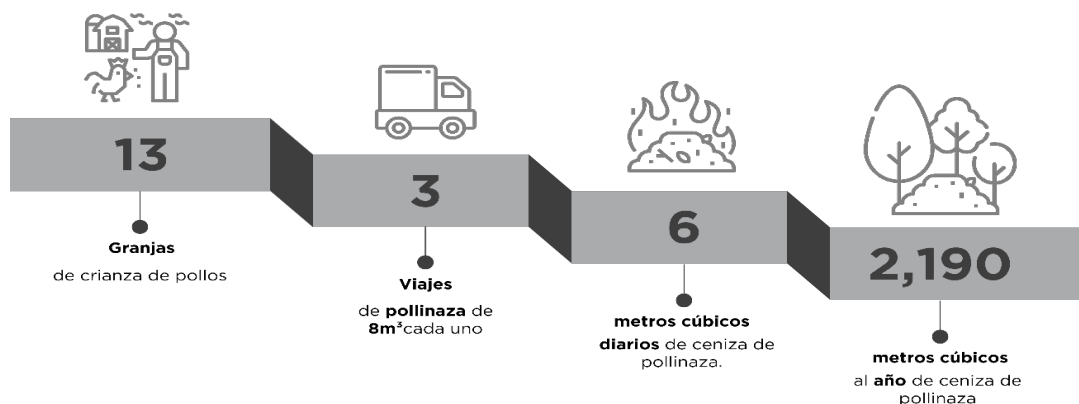
Nota. Elaboración propia.

El aumento en el consumo nacional de carne de pollo (47.1 libras per cápita) y de 190 huevos anuales por persona (Villeda, 2022) evidencian la expansión sostenida del sector avícola y, con ello, la necesidad de desarrollar estrategias de valorización de residuos, que contribuyan a la sostenibilidad del sistema productivo.

En este contexto, la empresa colaboradora, con sede en La Libertad, que opera 13 granjas y produce alrededor de 6 m³ diarios de ceniza de pollinaza, equivalentes a 2,190 m³ anuales. C. Garay (comunicación personal, 14 de noviembre de 2024), constituye un caso representativo del volumen de residuos generados por el sector avícola y del potencial de su aprovechamiento local.

Figura 2

Datos de producción anual de ceniza de pollinaza de la empresa colaboradora.



Nota. Elaboración propia.

Según *The Circularity Gap Report 2021* (2021), el mundo es solo un 8.6 % circular, lo que evidencia una gran brecha en la circularidad global. Alcanzar una transición circular completa requiere innovación creativa, colaboración entre sectores y un rediseño sistémico de las cadenas de valor. Frente a este panorama, la economía circular se plantea como un modelo de desarrollo orientado a mantener los recursos materiales dentro del ciclo productivo durante el mayor tiempo posible, mediante estrategias de reutilización, reciclaje y recuperación de valor (Bakir y Aral, 2025). A diferencia del modelo lineal basado en "extraer, producir y desechar", este enfoque promueve una lógica regenerativa, centrada en minimizar el desperdicio y maximizar la eficiencia de los recursos. De acuerdo con la Ellen MacArthur Foundation (2025), los principios fundamentales de la economía circular consisten en preservar y mejorar el capital natural, optimizar el uso de materiales y energía, y fortalecer la resiliencia de los sistemas productivos a través del diseño y la innovación.

Desde la perspectiva de la economía circular, los subproductos agroindustriales, como la ceniza de pollinaza, pueden reincorporarse en ciclos de valor dentro de procesos productivos o de diseño, prolongando

su vida útil y reduciendo la generación de residuos, al transformarse en insumos de igual o mayor valor para la creación de nuevos productos (Ellen MacArthur Foundation, 2025). En este marco, la valorización material trasciende el desempeño técnico e incorpora el potencial expresivo, estético y funcional de la materia, entendida como agente activo en el proceso de diseño (Karana *et al.*, 2015).

Bajo este enfoque, la investigación explora la ceniza de pollinaza como material alternativo en el ámbito del diseño, orientando el trabajo a comprender sus propiedades físicas y sensoriales, para transformarla en un componente funcional y expresivo dentro de mezclas experimentales (Karana *et al.*, 2015).

El Diseño Guiado por el Material (Material Driven Design, MDD) sitúa al material en el centro del proceso, y estructura el avance en cuatro fases: comprensión del material, creación de la experiencia material, conceptualización y materialización. Este método articula observación, experimentación y aplicación, permitiendo iterar decisiones de diseño a partir de las propiedades reales del material (Karana *et al.*, 2015, véase Figura 3).

Figura 3

Método de Diseño Guiado por el Material (Material Driven Design – MDD).



Nota. Adaptada de Material Driven Design (MDD): A Method to Design for Material Experiences, por Karana *et al.* (2015). Copyright 2015 por los autores, bajo licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivs 2.5.

En la fase inicial, se ensayaron aglutinantes naturales (almidón de yuca y de maíz) para formular un material biodegradable. Los prototipos evidenciaron inestabilidad

estructural, aparición de hongos y baja cohesión, lo que impidió obtener un resultado funcional; estos hallazgos son consistentes con la literatura que reporta baja

resistencia mecánica, alta absorción de humedad y degradabilidad prematura en este tipo de aglutinantes (Liew *et al.*, 2022).

Ante tales limitaciones, y siguiendo la lógica iterativa del MDD, se migró a aglutinantes inorgánicos, en particular cemento blanco, con lo cual mejoraron la cohesión y la estabilidad física de las mezclas (Karana *et al.*, 2015). Este giro metodológico se alinea con antecedentes sobre materiales alternativos en matrices cementicias, ceniza volante, cascarilla de arroz calcinada, escorias de alto horno y cenizas de biomas, empleados como adiciones puzolánicas o cargas minerales para sustituir parcialmente cemento o agregados finos (Castillo *et al.*, 2022).

Khankhaje *et al.* (2025) señalan que los residuos agrícolas e industriales se han utilizado cada vez más como sustitutos del cemento, los áridos finos y gruesos y los elementos de refuerzo en la construcción. En particular, los residuos agrícolas han atraído la atención debido a su abundancia y propiedades químicas favorables. Sin embargo, la química del fósforo plantea cautelas. Xie *et al.* (2021) demostraron que altas concentraciones de fósforo en el clínker pueden interferir con la hidratación, retrasar el fraguado y reducir la resistencia, por lo que resulta imprescindible evaluar la compatibilidad química de residuos ricos en fósforo antes de su integración en matrices cementicias. Aunque ciertos tratamientos (calcinación, molienda, control granulométrico) mejoran trabajabilidad, durabilidad y resistencia en distintas cenizas, los materiales con alto contenido de P, como la ceniza de pollinaza, pueden mostrar limitaciones (Fahimi *et al.*, 2020; Codling *et al.*, 2002).

En las fuentes revisadas no se identifican estudios que analicen directamente el desempeño de la ceniza de pollinaza como sustituto del agregado fino en mezclas con cemento blanco, lo que señala un vacío específico que esta investigación aborda desde una aproximación exploratoria guiada por MDD, documentando propiedades físicas y sensoriales (textura, porosidad, adherencia, color y comportamiento al fraguado) y delimitando aplicaciones de uso decorativo no estructurales.

2. Metodología

La investigación se desarrolló bajo un enfoque cualitativo y experimental, orientado a la exploración material dentro

del marco de la metodología Material Driven Design (MDD), particularmente en sus dos primeras fases: comprensión del material y creación de la experiencia material (Karana *et al.*, 2015).

Durante la fase experimental inicial, correspondiente a la etapa "comprensión del material" del MDD, se realizaron pruebas con aglutinantes naturales, tales como almidón de yuca y almidón de maíz, con el objetivo de obtener un material biodegradable. Estas mezclas se realizaron buscando comprender el comportamiento base de la ceniza de pollinaza frente a diferentes tipos de cohesión material.

Posteriormente, y en coherencia con el carácter iterativo del MDD, los resultados observados en esta primera etapa, que evidenciaron limitaciones en cohesión y estabilidad, condujeron al diseño de una segunda fase experimental, centrada en el uso de cemento blanco como aglutinante inorgánico.

El propósito del estudio fue analizar el comportamiento físico-sensorial de mezclas compuestas por ceniza de pollinaza, cemento blanco y agua, en las que la ceniza se incorporó como sustituto total del agregado fino tradicional (arena).

Esta fase se alineó con la etapa "creación de la experiencia material del método", orientada a experimentar con propiedades visuales, táctiles y estructurales derivadas de las combinaciones materia-proceso.

La aplicación del MDD permitió integrar la manipulación manual del material y la observación sistemática, documentando cambios físicos y sensoriales a lo largo del proceso y estableciendo las bases para identificar atributos no evidentes en el material inicial.

El proceso fue documentado mediante observación directa, registro fotográfico y fichas experimentales, a fin de identificar las propiedades estructurales, estéticas y funcionales emergentes del material, así como su potencial adaptabilidad en contextos de diseño basados en los principios de la economía circular.






Se recolectaron datos cualitativos relacionados con las siguientes variables: olor, textura, color, porosidad visible, comportamiento durante el secado (Figura 4).

Figura 4

Factores cualitativos observados durante la experimentación material.

Observaciones de muestras

Los factores registrados en nuestras fichas no se compararon contra estándares técnicos normativos, sino que se evaluaron cualitativamente a través de la observación directa, repetición de ensayos y documentación audiovisual.

Factor	Olor	Textura	Color	Porosidad visible	Comportamiento durante el secado
					
Anotaciones	Se identifica por intensidad o características (leve, fuerte, desagradable, neutro).	Se describe con percepciones táctiles o visuales (áspera, rugosa, homogénea, granulada).	Se describe por tonalidad y cambios visuales; puede complementarse con escala cromática, pero sigue siendo perceptiva.	Se observa visualmente (poca, moderada, alta presencia de poros).	Se documenta por observación (rápido, lento, con grietas, uniforme, desigual).

Nota. Elaboración propia.

Estos datos fueron registrados en fichas digitales actualizadas a medida que se realizaron los experimentos. La Tabla 1 presenta una síntesis de las herramientas e instrumentos empleados durante el proceso experimental. Para el desarrollo de las pruebas se recurrió a elementos de uso común, seleccionados por su funcionalidad, bajo costo y facilidad de acceso.

Estos se organizaron en tres categorías operativas: preparación y procesamiento, medición y mezcla, y registro y seguimiento.

La selección respondió a criterios de replicabilidad en contextos con baja infraestructura técnica, garantizando la trazabilidad y consistencia del proceso experimental.

Tabla 1

Lista de herramientas e instrumentos utilizados en el proceso de la experimentación.

Categoría	Herramienta/Instrumento	Observaciones
Preparación y procesamiento	Ollas y cucharas de peltre	Mezclado de ingredientes a fuego lento
	Cocina eléctrica	Calentamiento de mezclas con almidón
	Piedra de moler	Trituración previa de ceniza
Medición y mezcla	Vasos y tazas medidoras	Preparación de mezclas
	Moldes plásticos reutilizables	Formado de piezas experimentales
	Coladores (fino, medio, grueso)	Tamizado de ceniza/granulometría
Registro y seguimiento	Fichas experimentales digitales	Observación estructurada de propiedades
	Dispositivo móvil (iPhone)	Registro fotográfico y audiovisual
	Cuaderno pequeño	Registro de notas de observaciones o proceso
	Rotuladores y etiquetas	Identificación y seguimiento de muestras

Nota. Elaboración propia.

Luego, la Tabla 2 presenta una síntesis de los materiales utilizados en la fase experimental, organizados según su tipo y función dentro de las mezclas elaboradas. Esta tabla resume los componentes empleados durante las etapas preliminar y principal del estudio, permitiendo visualizar de manera estructurada los elementos involucrados en el proceso de experimentación material.

Tabla 2

Materiales utilizados, divididos por categorías y descritos por nombre y uso en las pruebas.

Categoría	Material	Uso en pruebas
Aglutinantes inorgánicos	Cemento blanco (marca Reflex)	Aglutinante principal en mezclas con ceniza
Aglutinantes naturales	Almidón de yuca	Biopolímero experimental
	Almidón de maíz	Biopolímero experimental
Carga mineral	Ceniza de pollinaza	Sustituto de arena y carga estructural
Hidratación	Agua potable	Medio de disolución y activación

Nota. Elaboración propia.

Continuando, la Tabla 3 muestra las proporciones de materiales empleadas en la experimentación con aglutinantes naturales, correspondientes a la fase preliminar del estudio. En esta etapa se elaboraron mezclas con almidón de maíz y almidón de yuca, combinados con ceniza de pollinaza en tres gradaciones diferentes, con el fin de evaluar su comportamiento como cohesivos biodegradables. Las cantidades se midieron por volumen, utilizando una taza por componente para mantener la uniformidad en las pruebas y facilitar la comparación entre formulaciones.

Tabla 3

Cantidades de materiales de acuerdo a la experimentación con aglutinantes naturales.

Mezcla experimental	Componente 1	Componente 2
Almidón de maíz + ceniza 1:1	1 taza de almidón de maíz	1 taza de ceniza grado 1 (fino)
	1 taza de almidón de maíz	1 taza de ceniza grado 2 (medio)
	1 taza de almidón de maíz	1 taza de ceniza grado 3 (grueso)
Almidón de yuca + ceniza 1:1	1 taza de almidón de yuca	1 taza de ceniza grado 1 (fino)
	1 taza de almidón de yuca	1 taza de ceniza grado 2 (medio)
	1 taza de almidón de yuca	1 taza de ceniza grado 3 (grueso)

Nota. Elaboración propia.

Por su parte, la Tabla 4 presenta las proporciones empleadas en las mezclas experimentales con aglutinante mineral (cemento blanco). Se elaboraron tres grupos de formulaciones: cemento + ceniza (1:1), cemento + ceniza (1:2) y cemento + arena (1:1), esta última utilizada como mezcla de referencia. En las combinaciones con ceniza, se evaluaron tres gradaciones del material, fina, media y gruesa, con el propósito de analizar la influencia del tamaño de partícula y la proporción de ceniza sobre las propiedades físicas y sensoriales de las mezclas resultantes. Todas las mediciones se realizaron por volumen, utilizando una taza por componente, para garantizar la uniformidad entre las pruebas.

Tabla 4

Cantidades de materiales de acuerdo a la experimentación con aglutinante mineral.

Mezcla experimental	Componente 1	Componente 2
Cemento + ceniza 1:1	1 taza de cemento	1 taza de ceniza grado 1 (fino)
	1 taza de cemento	1 taza de ceniza grado 2 (medio)
	1 taza de cemento	1 taza de ceniza grado 3 (grueso)
Cemento + ceniza 1:2	1 taza de cemento	2 taza de ceniza grado 1 (fino)
	1 taza de cemento	2 taza de ceniza grado 2 (medio)
	1 taza de cemento	2 taza de ceniza grado 3 (grueso)
Cemento + arena 1:1	1 taza de cemento	1 taza de ceniza grado 1 (fino)
	1 taza de cemento	1 taza de ceniza grado 2 (medio)
	1 taza de cemento	1 taza de ceniza grado 3 (grueso)

Nota. Elaboración propia.

Las pruebas experimentales se llevaron a cabo entre diciembre de 2024 y mayo de 2025, desarrollándose en distintas fases iterativas, que permitieron evaluar y ajustar las formulaciones en función de los resultados observados. El proceso se inició con la recolección y preparación de la ceniza de pollinaza, la cual fue obtenida en su estado natural húmedo, dado que permanecía a la intemperie en el sitio de origen tras su incineración. Para su transporte se utilizaron bolsas plásticas transparentes, lo que permitió una inspección visual

inicial para identificar posibles signos de proliferación de hongos.

Una vez trasladada al espacio de trabajo, la ceniza fue almacenada durante dos semanas en un ambiente ventilado, con el objetivo de reducir la humedad residual y disipar el olor a quemado. Posteriormente, se trituró manualmente utilizando una piedra de moler y fue tamizada con coladores de tres calibres diferentes, obteniéndose así fracciones granulométricas clasificadas como fina, media y gruesa (Figura 5).

Figura 5

Coladores empleados para la clasificación granulométrica de la ceniza de pollinaza.



Nota. La figura muestra los tres coladores utilizados para separar la ceniza de pollinaza según su tamaño de partícula: **colador 1 (fino)**, **colador 2 (medio)** y **colador 3 (grueso)**. Esta clasificación permitió obtener tres gradaciones distintas de material, utilizadas posteriormente en la formulación de las mezclas experimentales.

Figura 6

Gradaciones de ceniza de pollinaza obtenidas mediante tamizado manual.



Nota. La figura muestra los tres tamaños de partícula obtenidos tras el proceso de tamizado manual de la ceniza de pollinaza: **grado 1 (fino)**, **grado 2 (medio)** y **grado 3 (grueso)**. Esta clasificación permitió analizar la influencia del tamaño de partícula sobre el comportamiento físico y sensorial de las mezclas experimentales, elaboradas con cemento blanco como aglutinante mineral.

Para garantizar la trazabilidad del proceso, se diseñó una ficha experimental estructurada, para documentar los ingredientes, proporciones, procedimiento, condiciones iniciales, observaciones durante el secado y desmolde, así como comentarios cualitativos sobre el desempeño del material y posibles ajustes futuros. Estas fichas se actualizaron tras cada prueba, sirviendo como instrumento de comparación entre formulaciones y registro del proceso experimental.

Las mezclas experimentales se elaboraron en proporciones 1:1 y 1:2 en volumen de cemento blanco marca Reflex y ceniza de pollinaza, definidas bajo un enfoque exploratorio y comparativo. Esta selección responde a los criterios experimentales descritos por Castillo *et al.* (2022), orientados a observar la compatibilidad y el comportamiento de residuos agrícolas dentro de matrices cementicias antes de optimizar sus proporciones. En coherencia con la metodología del Material Driven Design (MDD), las formulaciones priorizaron la comprensión del comportamiento físico-sensorial del material más que su desempeño estructural (Karana *et al.*, 2015).

La dosificación se realizó con tazas medidoras domésticas estandarizadas, manteniendo constante la cantidad de agua. Previamente, la ceniza fue triturada y tamizada manualmente, para homogeneizar su granulometría. Los componentes secos se mezclaron en recipientes de peltre, añadiendo el agua de forma gradual, mientras los componentes se agitaban manualmente durante tres a cinco minutos, hasta obtener una textura plástica y manejable. En las pruebas con aglutinantes naturales, las mezclas se calentaron a fuego lento sobre una cocina eléctrica para favorecer la disolución del almidón.

Las muestras se vertieron en moldes plásticos reutilizables, rotuladas con fecha, hora y composición, y se dejaron secar de forma natural en ambientes ventilados por un lapso de tiempo de 48 a 72 horas. Todo el proceso fue documentado mediante registros audiovisuales (fotografías y videos), que capturaron la mezcla, el moldeado, el fraguado y la transformación del material. Además, se elaboró una mezcla control de cemento blanco y arena convencional, para comparar su comportamiento físico y sensorial con respecto a las formulaciones con ceniza de pollinaza.

Figura 7

Collage de proceso. Mezcla de cemento y ceniza de pollinaza.



Nota. Elaboración propia.

Figura 8

Collage de proceso. Elaboración de las muestras de cemento y ceniza (1:2).



Nota. Elaboración propia.

Figura 9

Collage de elaboración de las muestras de cemento y ceniza (1:1).



Nota. Elaboración propia.

Figura 10

Collage de proceso de elaboración de las muestras de cemento y arena (1:1).



Nota. Elaboración propia.

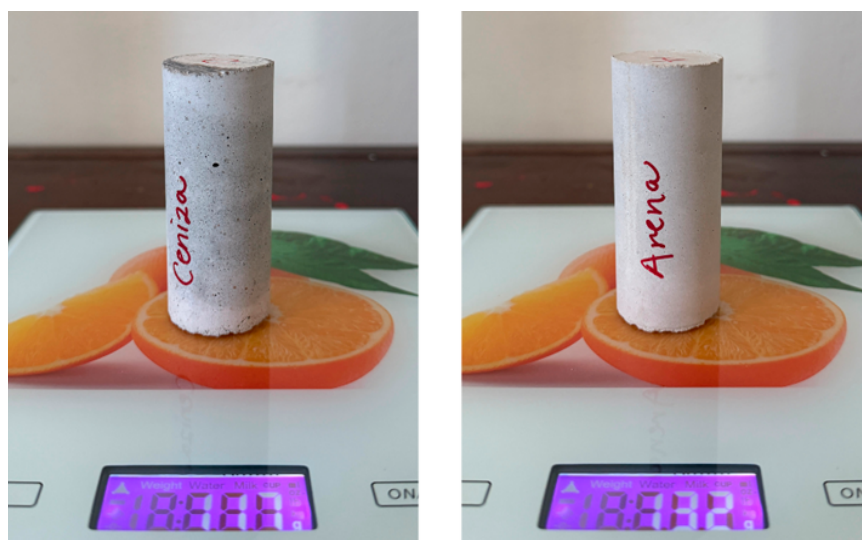
2.1 Prueba de absorción de agua en cilindros de ceniza vs arena

Como parte del análisis del comportamiento físico de las piezas elaboradas con ceniza, se realizó una prueba de absorción de agua. Para ello, se elaboraron cilindros de 4 cm de diámetro por 8 cm de altura, utilizando una proporción 1:1 en volumen de cemento blanco y ceniza de pollinaza, así como una muestra de control compuesta por cemento y arena en igual proporción.

Las muestras ya secas fueron pesadas utilizando una balanza digital. La muestra de ceniza registró un peso de 117g mientras que la muestra de arena pesó 132g. Posteriormente ambas fueron sumergidas completamente en agua a temperatura ambiente durante una hora. A partir de este momento, se realizaron mediciones de peso cada hora durante un periodo de seis horas, con el fin de calcular el porcentaje de absorción de agua. Este procedimiento permitió comparar el comportamiento higroscópico entre ambas formulaciones y documentar el proceso de absorción y secado a lo largo del tiempo.

Figura 11

Peso inicial de los cilindros secos: ceniza 117 g, arena 132 g.



Nota. Elaboración propia.

Tabla 5

Tabla de registros de pesos de muestras de ceniza y de arena en proceso de secado.

Hora	Ceniza y cemento (g)	Arena y cemento (g)	Ceniza y cemento (lb)	Arena y cemento (lb)
10:25 a.m.	125	146	0.276	0.322
11:25 a.m.	122	142	0.269	0.313
12:25 p.m.	121	141	0.267	0.311
13:25 p.m.	119	138	0.262	0.304
14:25 p.m.	118	137	0.26	0.302
15:25 p.m.	117	135	0.258	0.298
16:25 p.m.	117	133	0.258	0.293

Nota. Elaboración propia.

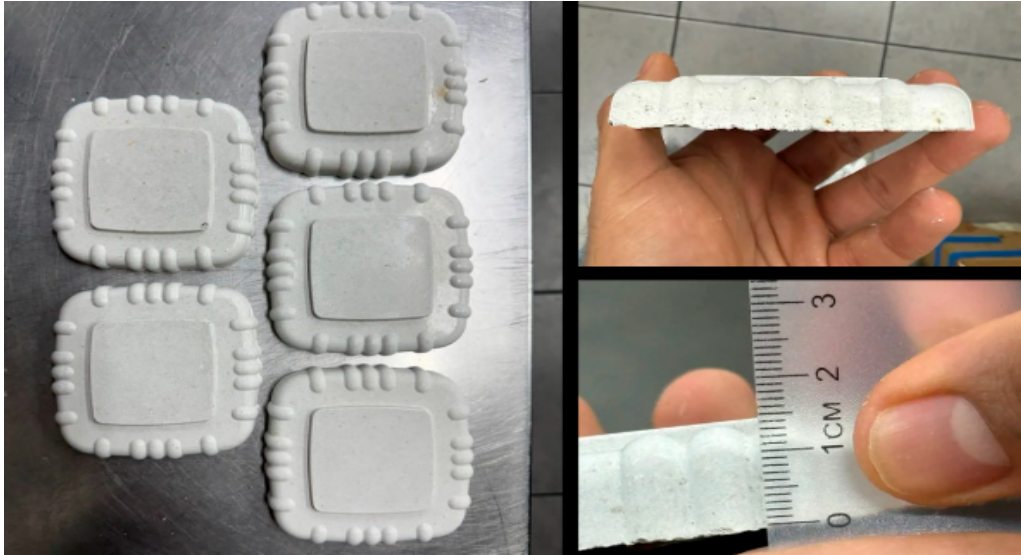
2.2 Aplicación de acabados en piezas de ceniza y cemento

De forma complementaria, se elaboraron piezas planas con formato decorativo, para aplicar recubrimientos y observar el comportamiento del material frente a otros compuestos. Las piezas fueron moldeadas en formato cuadrado de 9.5 x 9.5 cm, con un grosor de

1.5 cm; tras su fabricación se dejaron secar por 72 horas. Posteriormente fueron enjuagadas únicamente con agua, para remover cualquier residuo de polvo superficial y preparar la superficie para la aplicación de los recubrimientos. Se dejaron secar durante 3 horas, y luego se procedió con la aplicación de los acabados.

Figura 12

Piezas de cemento y ceniza de formato cuadrado para pruebas de pintura.



Nota. Elaboración propia.

Los recubrimientos utilizados fueron: barniz poliuretano 2 en 1, marca Sherwin Williams; y pintura látex acrílica mate Excello, color amarillo, marca Sherwin Williams. Para el proceso de aplicación, cada pieza fue dividida utilizando cinta adhesiva tipo tirro, estableciendo tres tipos de tratamientos para las pruebas.

- **Pieza 1:** una capa de pintura acrílica amarilla.
- **Pieza 2:** tres capas de poliuretano, con un intervalo de secado de dos horas entre capas.
- **Pieza 3:** una capa de pintura acrílica amarilla, con una hora de secado, seguida de dos capas de poliuretano, con un intervalo de dos horas entre capas.

Figura 13

Proceso de aplicación de barniz y pintura acrílica a las piezas de ceniza con cemento.



Nota. Elaboración propia.

La aplicación se realizó con pinceles, en un ambiente ventilado y libre de humedad, evaluando la adherencia, absorción del recubrimiento, uniformidad del color y cambios estéticos en la superficie del material. Las observaciones se documentaron fotográficamente y fueron registradas en las fichas.

2.3 Elaboración de prototipo

Como fase final de la investigación, se elaboró un prototipo de aplicación, con el propósito de explorar la viabilidad estética y funcional de las piezas desarrolladas. Este prototipo permitió evaluar las posibilidades expresivas del material y su potencial de integración en contextos de diseño, mediante la observación directa de su comportamiento formal, táctil y visual.

Para su construcción, se emplearon piezas experimentales, fabricadas con una mezcla de cemento blanco Reflex y ceniza de pollinaza en proporción 1:1,

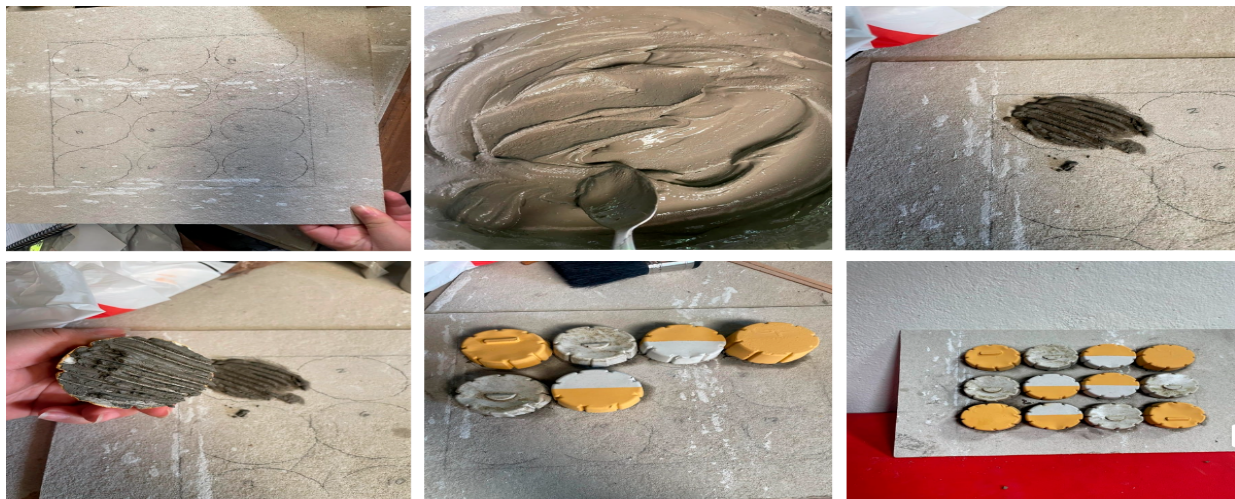
utilizando granulometría gruesa, para conservar la mayor cantidad posible de materia original y resaltar las cualidades visuales y texturales de la ceniza.

El montaje se realizó sobre una loseta de cielo falso, cuyo reverso contiene una capa de fibrocemento, lo que permitió utilizar cemento gris como adhesivo para la fijación. Las unidades modulares, de aproximadamente 5.5 cm de diámetro, fueron adheridas mediante una mezcla de cemento gris Reflex y agua, aplicada tanto sobre la base como en la parte posterior de cada pieza. Una vez ensambladas, se dejaron secar durante 24 horas.

En total, se pintaron y ensamblaron 12 piezas para conformar un supermódulo decorativo, concebido como pieza artística experimental. Finalmente, la loseta se pintó con acrílico negro para realzar el contraste visual y fue enmarcada para su presentación.

Figura 14

Proceso de elaboración del prototipo como pieza artística decorativa.



Nota. Elaboración propia.

3. Resultados

3.1 Resultados de experimentación con aglutinantes naturales

La mezcla experimental de almidón de yuca y ceniza de pollinaza evidenció un comportamiento inestable durante el proceso de secado. Tras siete días de observación, el endurecimiento se limitó a la capa superficial, mientras el interior permaneció húmedo,

favoreciendo la formación de hongos de color blanco, café y amarillento, acompañada de un olor ácido y desagradable, similar al de la masa de maíz en descomposición. Este comportamiento confirma lo señalado por Liew *et al.* (2022), quienes describen que los aglutinantes naturales tienden a presentar alta absorción de humedad, degradabilidad prematura y escasa estabilidad estructural, lo que restringe su uso

en materiales duraderos. En concordancia, la mezcla de almidón y ceniza mostró una degradación biológica acelerada, asociada a la retención de agua y a la actividad microbiana generada por la materia orgánica presente en la ceniza, limitando así su aplicabilidad como cohesivo natural.

Figura 15

Resultados de experimentación entre almidón de yuca y ceniza de pollinaza.



Nota. Elaboración propia.

Figura 16

Resultados de experimentación entre almidón de yuca y ceniza de pollinaza en formato de láminas.



Nota. Elaboración propia.

Tabla 6

Síntesis de resultados de experimentos realizados con aglutinantes naturales. Formulación, comportamiento y observaciones.

Formulación	Comportamiento	Observaciones adicionales
Almidón de maíz + ceniza 1:1	Formación de masa gelatinosa, frágil, sin capacidad estructural.	Textura inestable, no apta para carga o forma tridimensional, poco olor, la textura se mantuvo gelatinosa, sin adherirse al recipiente que la contiene.
Almidón de yuca + ceniza 1:1	Desarrollo de hongos, mal olor y degradación interna, endurecimiento de capa superior; internamente, blanda y pegajosa.	En láminas delgadas el secado fue más eficiente y no se observó presencia fúngica, pero se deformó al retirarse del molde inicial.

Nota. Elaboración propia.

Figura 17

Resultados de experimentación entre almidón de maíz y ceniza de pollinaza.



Nota. Elaboración propia.

La mezcla experimental de almidón de maíz y ceniza de pollinaza en proporción 1:1 mostró un comportamiento inestable y carente de capacidad estructural. Durante la observación se evidenció la formación de una masa gelatinosa, frágil y poco cohesiva, que no alcanzó rigidez ni mantuvo forma tridimensional propia (Figura 17). Su textura permaneció viscosa y blanda, sin adherirse al recipiente que la contenía, lo que indica una interacción

deficiente entre el almidón y la ceniza. Aunque el material no presentó olor intenso, se mantuvo con apariencia húmeda y superficie brillante, sugiriendo una retención de agua significativa. Estos resultados coinciden con lo descrito por Liew *et al.* (2022), quienes señalan que los aglutinantes naturales tienden a presentar baja resistencia mecánica, alta absorción de humedad y degradabilidad prematura, lo que limita su uso en materiales duraderos.

3.2 Resultados de experimentación con (cemento + ceniza) vs (cemento + arena)

Figura 18

Resultados de experimentación entre cemento y ceniza de pollinaza 1:1.



Nota. Elaboración propia.

La textura final del material con proporción 1:1 (Figura 18) presentó una superficie lisa, con acabado ligeramente brillante, buena definición en moldes, porosidad moderada y un color gris claro, que podría deberse en parte al uso del cemento color blanco. Un hallazgo relevante fue la variación de textura según el grado de exposición al entorno: la cara en contacto con el molde mostró una textura más lisa y un brillo notorio; los laterales presentaron una superficie levemente más rústica; mientras que la cara superior, expuesta al ambiente, desarrolló un acabado más rugoso. Cabe

destacar que esta mezcla no mostró grietas visibles durante el proceso de secado.

En contraste, la mezcla de control cemento y arena 1:1 (Figura 19), elaborada con cemento y arena en proporción 1:1, mostró una textura más densa y homogénea en todas sus caras, con excepción de la cara superior, que presentó una textura más porosa. El color estuvo determinado por los tonos grises de la arena utilizada. Esta muestra sí presentó grietas visibles durante el proceso de fraguado, a pesar de haber sido sometida a las mismas condiciones ambientales que la pieza de ceniza.

Figura 19

Resultado de experimentación entre cemento y arena proporción 1:1.



Nota. Elaboración propia.

Figura 20

Comparación entre piezas de ceniza y arena proporción 1:1



Nota. Elaboración propia.

La prueba de absorción de agua evidenció diferencias significativas en el comportamiento higroscópico entre las dos formulaciones evaluadas. Según los datos registrados en la Tabla 5 (véase metodología). El cilindro elaborado con cemento blanco y ceniza de pollinaza, con un peso inicial de 117 g, registró un incremento de

8 g tras una hora de inmersión en agua, alcanzando los 125 g. Por su parte, la muestra de control, compuesta por cemento blanco y arena en proporción equivalente, pasó de 132 g, a 146 g en el mismo intervalo, con una ganancia de 14 g.

Figura 21

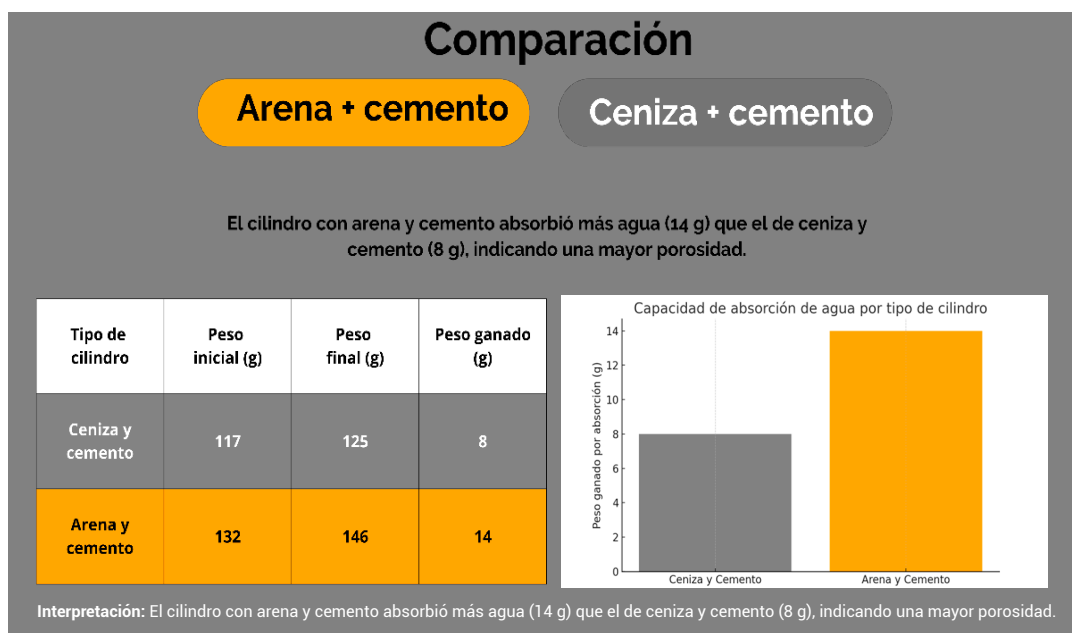
Peso final (después de una hora sumergidos en agua). Ceniza 125 g, arena 146g.



Nota. Elaboración propia.

Figura 22

Comparación de la capacidad de absorción de agua entre mezclas de cemento con arena y con ceniza de pollinaza.



Nota. Elaboración propia.

En términos comparativos, la muestra de arena absorbió casi el doble de agua que la muestra de ceniza, lo cual sugiere una mayor porosidad o capacidad de retención de humedad en su estructura interna. Este comportamiento puede atribuirse a diferencias en la granulometría, densidad o cohesión entre partículas de cada mezcla.

Durante el proceso de secado natural, se recolectaron los datos en la Tabla 5 (véase metodología). Ambas

muestras regresaron progresivamente a su peso original. La muestra de ceniza logró estabilizar su peso en la quinta hora, mientras que la muestra de arena requirió al menos seis horas para alcanzar una condición similar. Este resultado sugiere que, además de absorber menos agua, la mezcla con ceniza presenta una menor retención hídrica, lo cual podría representar una ventaja en aplicaciones decorativas o en ambientes donde se busca reducir la acumulación de humedad.

Tabla 7

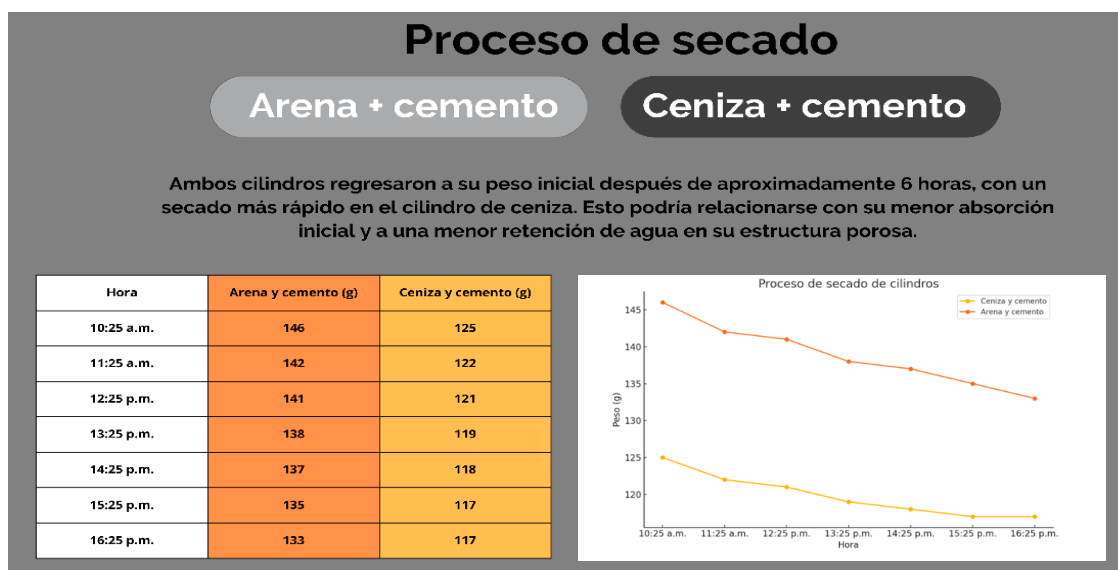
Tabla de registros de pesos de muestras de ceniza y de arena en estado inicial y final.

Tipo de cilindro	Peso inicial (g)	Peso final (g)	Peso ganado (g)	Peso inicial (lb)	Peso final (lb)	Peso ganado (lb)
Ceniza y cemento	117	125	8	0.258	0.276	0.018
Arena y cemento	132	146	14	0.291	0.322	0.031

Nota. Elaboración propia.

Figura 23

Datos sobre el proceso de secado de los cilindros.



Nota. Elaboración propia.

3.3 Resultados de experimentación de aplicación de acabados

La aplicación de distintos acabados permitió identificar las respuestas del material ante diversos tratamientos superficiales. La pintura látex acrílica mostró una

cobertura uniforme desde la primera capa, con buena adherencia y color intenso sin pérdida de opacidad, lo que evidencia una compatibilidad favorable entre el recubrimiento y la superficie del material. En la pieza combinada (pintura + barniz), la aplicación del barniz sobre la pintura intensificó ligeramente el tono, pero

también acentuó las imperfecciones superficiales, como marcas de pincel e irregularidades del soporte, posiblemente derivadas de la interacción entre capas.

Por su parte, la pieza tratada únicamente con barniz poliuretano presentó una absorción irregular del recubrimiento: aunque la aplicación fue homogénea, en algunas zonas el material absorbió el barniz con mayor rapidez, generando áreas visualmente más tenues. Fue necesario aplicar tres capas para lograr una apariencia continua. Además, el poliuretano aportó una ligera tonalidad amarillenta, que realzó la textura natural

del material y le otorgó una apariencia más cálida y orgánica.

En conjunto, los resultados indican que la mezcla de cemento y ceniza de pollinaza presenta buena compatibilidad con diferentes acabados superficiales, mostrando una respuesta estable frente a la pintura acrílica y un comportamiento más absorbente ante el barniz. La elección del recubrimiento dependerá de la intención estética del diseño, dado que cada tratamiento modifica tanto la percepción visual como la experiencia táctil del material.

Figura 24

Resultado de aplicación de pinturas a las piezas de ceniza y cemento.



Nota. Elaboración propia.

La elaboración del prototipo de aplicación permitió evaluar el comportamiento del material durante su instalación como elemento decorativo en superficie vertical. Las piezas circulares, elaboradas con la mezcla de ceniza de pollinaza y cemento blanco, fueron adheridas al reverso de una loseta de cielo falso, utilizando cemento gris como medio de fijación. Durante este proceso se identificaron dificultades de adherencia, ya que fue necesario aplicar el cemento con textura rayada, similar a la técnica de peinado con llana dentada, para aumentar la fricción y mejorar el anclaje. A pesar de ello, algunas piezas se desprendieron durante la manipulación o después del secado, lo que evidenció limitaciones del adhesivo empleado y la baja rugosidad del soporte.

Posteriormente, se repitió el proceso empleando un pegamento de la marca Sika, observándose una mejor adherencia y limpieza en la aplicación. Con este adhesivo, las piezas se fijaron de manera uniforme y sin desprendimientos posteriores, lo que facilitó el montaje y redujo el tiempo de manipulación.

En conjunto, estos resultados indican que, aunque el material es viable desde una perspectiva estética y compositiva, el sistema de instalación influye directamente en su desempeño funcional. Futuros ensayos deberían considerar el uso de adhesivos especializados, como los de base polimérica, y superficies con mayor rugosidad, para optimizar su aplicación en proyectos de diseño vertical.

Figura 25

1. Resultado final de pieza decorativa. 2. Visualización de instalación en espacio residencial. Montaje fotográfico realizado por los autores.



Nota. Elaboración propia.

4. Discusión

El proceso de diseño guiado por el material (MDD) rompe con la tradicional distancia entre el diseñador y la materia, proponiendo una práctica basada en la observación, la manipulación y la comprensión sensorial del material. Sin embargo, como advierte Bak-Andersen (2018), el hecho de iniciar el proceso desde los materiales no garantiza por sí mismo la sostenibilidad del resultado. Este enfoque, más que ofrecer soluciones inmediatas, invita a cuestionar los sistemas de producción, los modos de relación con la materia y las implicaciones de cada decisión material. En el contexto de esta investigación, la aplicación del MDD permitió abordar la ceniza de pollinaza desde una mirada exploratoria, revelando tanto su potencial técnico y expresivo como las tensiones que emergen al combinar residuos agroindustriales con aglutinantes minerales. Así, el valor del proceso no reside en alcanzar un producto sostenible, sino en abrir un espacio de reflexión sobre las transiciones posibles hacia una práctica de diseño más consciente.

Los hallazgos de esta investigación permiten reflexionar sobre el potencial técnico, estético y experimental de la ceniza de pollinaza como insumo alternativo dentro

del diseño de materiales. Si bien el estado del arte ha documentado el uso de adiciones minerales, como la ceniza volante, la cascarilla de arroz y otras biomásas agroindustriales, en formulaciones cementicias (Castillo *et al.*, 2022), los estudios sobre la ceniza de pollinaza se han concentrado principalmente en su aplicación agrícola como fuente de fósforo (Codling *et al.*, 2002), sin explorar de manera sistemática su potencial en áreas no agrarias, como el diseño, la construcción o la manufactura artesanal. Parisi *et al.* (2016) plantean que los diseñadores contemporáneos están desplazando su atención del producto terminado hacia la materia misma, explorando su comportamiento, transformación y potencial expresivo. En este contexto, el presente estudio se plantea como una exploración inicial, que busca generar interrogantes más que resolver problemas, en sintonía con la lógica experimental del Diseño Guiado por el Material (Karana *et al.*, 2015).

En las pruebas experimentales, la mezcla de cemento blanco y ceniza de pollinaza en proporción 1:1 mostró buena cohesión, acabado visual atractivo y porosidad moderada, sin fisuras durante el secado. Este comportamiento contrasta con la mezcla de control

con arena, que presentó grietas y mayor absorción de agua, sugiriendo diferencias en la estructura interna y el comportamiento físico del material. Sin embargo, estas observaciones deben interpretarse como indicadores iniciales de desempeño, ya que no se realizó una caracterización mecánica o térmica que permita validar su resistencia o durabilidad.

Respecto a los tratamientos de acabado, la superficie respondió de manera compatible tanto a la pintura acrílica como al barniz poliuretano. La pintura mostró buena adherencia y cobertura uniforme, mientras que el barniz presentó una absorción desigual y una leve tonalidad amarillenta que alteró la apariencia original. Estas observaciones evidencian que, si bien el material admite distintos acabados, su comportamiento frente a productos derivados de compuestos sintéticos plantea interrogantes sobre la coherencia entre el uso de un residuo agroindustrial y la incorporación de materiales petroquímicos en su acabado final.

En cuanto al montaje del prototipo de aplicación, la instalación en superficie vertical reveló limitaciones técnicas, relacionadas con la adherencia del material a la base. El uso inicial de cemento gris como adhesivo resultó poco eficaz, mientras que la aplicación posterior de un adhesivo de la marca Sika mejoró notablemente la fijación y la limpieza del proceso. Este ajuste experimental demuestra la necesidad de optimizar los métodos de instalación antes de considerar aplicaciones funcionales o decorativas en contextos reales.

Desde una perspectiva conceptual, este estudio no puede afirmarse como un ejercicio de diseño sostenible ni de bajo impacto ambiental, ya que tales afirmaciones requerirían un análisis comparativo exhaustivo del ciclo de vida de los materiales y de la cadena productiva involucrada. Más bien, la investigación se enmarca como una propuesta de transición experimental, orientada a explorar la revalorización de un residuo agroindustrial y provocar nuevas preguntas sobre su integración material en el ámbito del diseño. En esta fase, más que resolver un problema ambiental o técnico, el proyecto plantea interrogantes sobre la compatibilidad entre materiales de distinta naturaleza y los desafíos que implica su uso en procesos de fabricación artesanal.

Finalmente, los resultados obtenidos aportan un punto de partida para futuras investigaciones enfocadas en: (a) la caracterización físico-química y mecánica del material; (b) la evaluación de su comportamiento a largo plazo; y (c) el desarrollo de sistemas de acabado y adhesión compatibles con sus propiedades. Esta investigación, por tanto, no ofrece una solución definitiva, sino un ejercicio exploratorio, que busca comprender la materia desde su complejidad técnica y sensorial, abriendo camino a nuevas aproximaciones interdisciplinarias entre el diseño, la ciencia de materiales y la economía circular.

5. Conclusiones

Este estudio representa un primer acercamiento hacia la comprensión del potencial de la ceniza de pollinaza como material alternativo en el diseño, abordado desde la metodología del Diseño Guiado por el Material (MDD). Más que una búsqueda de soluciones técnicas, el proceso se centró en explorar y resignificar un residuo agroindustrial mediante la observación, la experimentación y la documentación sensorial de su comportamiento.

Los resultados confirman la viabilidad inicial de la mezcla de cemento blanco y ceniza (1:1) como material decorativo no estructural, con buena cohesión, estabilidad durante el secado y una apariencia visual homogénea. Sin embargo, los ensayos también revelaron limitaciones técnicas y desafíos de compatibilidad que demandan una profundización futura desde la ciencia de materiales.

Más allá de lo físico, el valor central de esta investigación radica en el acto de devolver significado a una materia considerada desecho. Desde la lógica de la economía circular, el proyecto no pretende cerrar un ciclo industrial, sino abrir uno simbólico: el de dar nueva vida a lo descartado y reconocer la capacidad del diseño para revelar la expresividad latente de los materiales.

Así, la ceniza de pollinaza deja de ser un residuo sin propósito para convertirse en materia con historia y potencial, un punto de partida para replantear la relación entre técnica, experimentación y sensibilidad.

Referencias

- Acar, Í. (2023). Utilization potential of poultry litter ash as phosphorus-based fertilizer. *Environmental Research and Technology*, 6(2), 102-107. <https://doi.org/10.35208/ert.1243895>
- Bak-Andersen, M. (2018). Quan la matèria duu a la forma: el disseny guiat pel material (MDD, Material Driven Design) i la sostenibilitat. *Temes de Disseny*, 34, 10-31.
- Bakir, H. y Aral, N. (2025). Sustainable development in the context of circular economy. *Journal of Environmental Management*, 394, 127366. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2025.127366>
- Castillo, D., Cruz, J. C., Trejo-Arroyo, D. L., Muzquiz, E. M., Zahrri, Z., Gurrola, M. P. y Vega-Azamar, R. E. (2022). Characterization of poultry litter ashes as a supplementary cementitious material. *Case Studies in Construction Materials*, 17, e01278. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2022.e01278>
- Codling, E. E., Chaney, R. L. y Sherwell, J. (2002). Poultry Litter Ash as a Potential Phosphorus Source for Agricultural Crops. *Journal of Environmental Quality*, 31(3), 954-961. <https://doi.org/10.2134/jeq2002.0954>
- Ellen MacArthur Foundation. (2025, 7 de agosto). *Circular business models: Rethinking how value is created*. Ellen MacArthur Foundation. <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/articles/circular-business-models-rethinking-how-value-is-created>
- Fahimi, A., Bilo, F., Assi, A., Dalipi, R., Federici, S., Guedes, A., Valentim, B., Olgun, H., Ye, G., Bialecka, B., Fiameni, L., Borgese, L., Cathelineau, M., Boiron, M.-C., Predeanu, G. y Bontempi, E. (2020). Poultry litter ash characterisation and recovery. *Waste Management*, 111, 10–21. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.05.010>
- Intendencia Económica de la Superintendencia de Competencia. (2022). *Estudio sobre las condiciones de competencia en la producción y distribución de huevos y carne de pollo en El Salvador*. Superintendencia de Competencia. https://www.sc.gob.sv/wp-content/uploads/estudios_IE/estudios_PDF/Estudio_Huevos_CarnePollo_2022.pdf
- Karana, E., Barati, B., Rognoli, V. y van der Laan, A. Z. (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>
- Khankhaje, E., Jang, H., Kim, J. y Rafieizonooz, M. (2025). Utilizing rice husk ash as cement replacement in pervious concrete: A review. *Developments in the Built Environment*, 22, 100675. <https://doi.org/10.1016/j.dibe.2025.100675>
- Liew, K., Tan, Y., Albert, C. M., Raman, V. y Boyou, M. (2022, 27 de mayo). Potential of Using Natural and Synthetic Binder in Wood Composites. *Forests*, 13(6), 844. <https://doi.org/10.3390/f13060844>

- Parisi, S., Rognoli, V. y Ayala García, C. (27-30 de septiembre de 2016). *Designing materials experiences through passing of time: Material-driven design method applied to mycelium-based composites*. Celebration & Contemplation, 10th International Design Conference on Design & Emotion, Amsterdam, Países Bajos. https://www.researchgate.net/publication/303550650_Designing_Materials_Experiences_through_Passing_of_Time_MaterialDriven_Design_Method_applied_to_Mycelium-based_Composites
- The Circularity Gap Report 2021*. (2021). Circle Economy. <https://www.circularity-gap.world/2021>
- Villeda, J. (2022, 8 de septiembre). Más de 600 granjas avícolas operan en El Salvador, un 64 % producen huevos. *El Mundo*. <https://diario.elmundo.sv/economia/mas-de-600-granjas-avicolas-operan-en-el-salvador-un-64-producen-huevos>
- Xie, L., Deng, M., Tang, J. y Liu, K. (2021). Hydration and Strength Development of Cementitious Materials Prepared with Phosphorous-Bearing Clinkers. *Materials*, 14(3), 508. <https://doi.org/10.3390/ma14030508>