

**DESARROLLO DE UN MATERIAL
SOSTENIBLE A PARTIR DE RESIDUOS
AGROINDUSTRIALES DE LA
PRODUCCIÓN DE HORTENSIAS, PARA
SU IMPLEMENTACIÓN EN EL
EMPAQUADO DE FLORES**

**MARIANA GÓMEZ MORENO
MARIA FERNANDA GUERRA GÓMEZ
SANTIAGO SERNA OBANDO
RICARDO TOBÓN MARÍN**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
ESCUELA DE ARQUITECTURA Y DISEÑO
FACULTAD DE DISEÑO INDUSTRIAL
PROGRAMA DE DISEÑO INDUSTRIAL
MEDELLÍN
2022**

**DESARROLLO DE UN MATERIAL
SOSTENIBLE A PARTIR DE RESIDUOS
AGROINDUSTRIALES DE LA
PRODUCCIÓN DE HORTENSIAS, PARA
SU IMPLEMENTACIÓN EN EL
EMPAQUADO DE FLORES**

MARIANA GÓMEZ MORENO
MARIA FERNANDA GUERRA GÓMEZ
SANTIAGO SERNA OBANDO
RICARDO TOBÓN MARÍN

Trabajo de grado para optar al título de Diseñador Industrial

Asesor

EVER PATIÑO MAZO
Magíster en Ingeniería

ALEJANDRO ALBERTO ZULETA GIL
Doctor en Ingeniería

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
ESCUELA DE ARQUITECTURA Y DISEÑO
FACULTAD DE DISEÑO INDUSTRIAL
PROGRAMA DE DISEÑO INDUSTRIAL
MEDELLÍN
2022

Desarrollo de un material sostenible a partir de residuos agroindustriales de la producción de hortensias, para su implementación en el empaqueo de flores

Mariana Gómez Moreno, María Fernanda Guerra, Santiago Serna Obando, Ricardo Tobón Marín.
Facultad de Diseño Industrial, Universidad Pontificia Bolivariana, Sede Medellín, Circular 1 N° 70-01, Medellín, Colombia

Resumen

La producción y exportación de flores son dos de las actividades más importantes a nivel social y económico en el oriente antioqueño. Anualmente, estas labores producen una alta cantidad de residuos agroindustriales vegetales que no cuentan con un proceso de reciclaje definido, representando problemáticas para los floricultores quienes muchas veces no cuentan con los conocimientos ni las herramientas necesarias para trabajarlos, lo que ocasiona daños ambientales por malas prácticas de disposición. Por esta razón, el presente artículo muestra una posible solución a estas problemáticas por medio del desarrollo de un material sostenible, en donde se aprovechan estos residuos provenientes de la producción hortensias, para que puedan ser implementados en el empaquetado de flores. En primera instancia, se hizo una visita a un cultivo de hortensias para clasificar los desechos producidos y precisar de qué formas son aprovechados o reciclados. Posteriormente, tomando como base metodologías de formación de láminas a partir de biomasa, se realizaron varias pruebas con diferentes combinaciones de tipos de desechos vegetales, aglutinantes y elementos impermeabilizantes, para determinar cuál de ellas era la más apropiada para ser implementada en el desarrollo de empaques, según sus propiedades de resistencia a la tracción, absorción de humedad y de adaptabilidad morfológica. Se demostró que el desarrollo de un material sostenible a base de residuos vegetales de la producción de hortensias es un proceso viable para ser implementado en la elaboración de empaques, gracias a su adaptabilidad morfológica por medio de matriz y presión, cualidades estructurales y de resistencia a la humedad.

Palabras clave: Diseño; Floricultura; Sostenibilidad; Residuos; Empaques.

1. Introducción

La floricultura es una de las principales actividades agroindustriales no tradicionales de la región del oriente antioqueño que ha crecido de manera sustancial en los últimos años, llegando a exportar a diferentes países de Centro América y Europa (*Giraldo & Álzate, 2016*). Algunos municipios como La Ceja, Marinilla, Rionegro y el Carmen de Viboral, obtienen su sustento en torno a estas actividades floricultoras de siembra y cosecha, principalmente de la flor hortensia, cuya práctica deja como resultado una serie de residuos sólidos, separados entre contenido vegetal, como hojas, tallos, flores y raíces; y contenido no vegetal, como plástico, metal y madera. Según diversos estudios, se calcula que esta industria solo en esta región llega a producir cerca de 60.000 toneladas de residuos al año (*Red de desarrollo sostenible, 2012*), en donde el 90% corresponde a desechos vegetales, 6% a plásticos de invernadero, 2% dividido entre papel y cartón, y un 2% restante se distribuye entre remanentes de madera, metal y caucho (*Giraldo & Álzate, 2016*).

Cada productor tiene diferentes métodos para deshacerse de estos residuos como la quema de tallos y hojas, o su disposición en rellenos sanitarios (*El tiempo, 2017*). Sin embargo, estas prácticas al no estar reguladas por los entes de control especializados en temas de disposición de residuos, generan un vacío de conocimiento sobre los impactos negativos a nivel ambiental y económico, y como estos se pueden ver empeorados a largo plazo si los productores no cuentan con alternativas para que ellos mismos los puedan gestionar.

Diferentes empresas nacionales han buscado soluciones para esta problemática, como es el caso de Bioestibas y Flores Funza, quienes han visto en los desechos generados en la producción de flores la oportunidad de aprovecharlos de una manera innovadora, por medio de la creación materiales sostenibles como estibas a base de tallos de hortensia o la formación de pulpa de papel a base de hojas y flores de clavel (*Lugo, 2017; Vargas, 2017*). Lastimosamente, a pesar de representar una solución viable por sus buenos índices de aprovechamiento de residuos y ser reconocidos a nivel nacional (premio a la Protección del Medio Ambiente otorgado a Flores Funza en el 2016), aún no son capaces de utilizarlos en su totalidad ni brindare las herramientas a los productores para que ellos puedan gestionar los desechos por cuenta propia.

Dicho esto, la pregunta de investigación del proyecto es ¿cómo aprovechar los residuos agroindustriales provenientes de la producción de hortensias en la región del oriente antioqueño para generar, por medio de tecnologías de bajo costo, materiales sostenibles laminares que sean propicios para implementarse en el empaqueo de flores?

1.1. Objetivos

Frente a estos vacíos de conocimiento, carencia de recursos de trabajo y falta de alternativas de disposición de residuos, se propone como objetivo general desarrollar una metodología de fabricación de bajo costo para elaborar materiales laminares a partir de los residuos agroindustriales vegetales provenientes de la siembra y cosecha de hortensias, que permitan el embalaje de flores producidas en el oriente antioqueño, ayudando a la protección de la economía regional por medio de la utilización de materias primas locales y a la preservación del medio ambiente a través de la creación de un material sostenible.

Para lograr esto, se definen los siguientes objetivos específicos:

- Caracterizar los residuos provenientes de la siembra y cosecha de hortensias según sus propiedades y posibles procesos de transformación.
- Definir el procesamiento más eficiente para la creación de láminas sólidas a partir de la experimentación con residuos de hortensias.
- Evaluar las propiedades estructurales y de resistencia a la humedad de la lámina desarrollada con el procesamiento definido, para que pueda ser implementada en el empaqueo de flores.
- Determinar las propiedades de adaptabilidad morfológica del material, bajo las técnicas de conformación por matriz y presión, para que pueda ser implementada en el empaqueo de flores.

1. 2. Marco conceptual

1. 2. 1. Siembra y cosecha de hortensias

En Colombia, la economía se constituye principalmente en la producción originada en el sector primario, de la cual se obtienen materias primas de la explotación de recursos naturales, como la industria de la floricultura (*MinCIT, 2016*). Las flores y plantas representan el 10% del producto nacional exportado (*Aguirre et al., 2017*), siendo el segundo producto de exportación más importante del país después del café. A su vez, Colombia ocupa el segundo lugar como proveedor de flores después de Holanda, con una participación del 16% del mercado mundial (*Manrique et al., 2014*).

En el departamento de Antioquia, la floricultura es una de las actividades más longevas y que más ganancias y empleos produce a lo largo de la región, donde solo en el oriente cerca de 6.000 personas se dedican a estas actividades. Dentro de estos cultivos de flores, se destaca el de la flor hortensia (ver figura 1), una especie de planta arbustiva trepadora perteneciente a la familia *hydrangea*, mayormente identificada por sus flores que varían de color (roja, rosa, azul, violeta, lila o blanca) dependiendo de su patrimonio genético y por el tipo de terreno en donde crecen (*Elicriso, 2022*). Actualmente, la hortensia es la flor que más se exporta en esta región, en donde de las 7.700 hectáreas que hay para la siembra y cosecha de flores, más de 1.550 se utilizan exclusivamente para el cultivo de hortensias (*Manrique et al., 2014; Asocolflores, 2015*).



Figura 1. Plantación de hortensias San Isidro en La Ceja, Antioquia. Fotografía de los autores.

Durante su producción se generan diferentes tipos de residuos que, al no ser manejados adecuadamente, pueden traer consigo efectos negativos en los recursos hídricos, el aire y el suelo. Según un estudio realizado por la oficina Agroambiental del municipio de La Ceja (*Giraldo & Álzate, 2016*) para determinar los tipos de residuos originados en los procesos de producción y cultivo de hortensias, se distribuyeron en diferentes grupos según sus cualidades (ver figura 2), lo que ayudó a identificar variables que determinan factores del impacto ambiental y socioeconómico de estos cultivos.

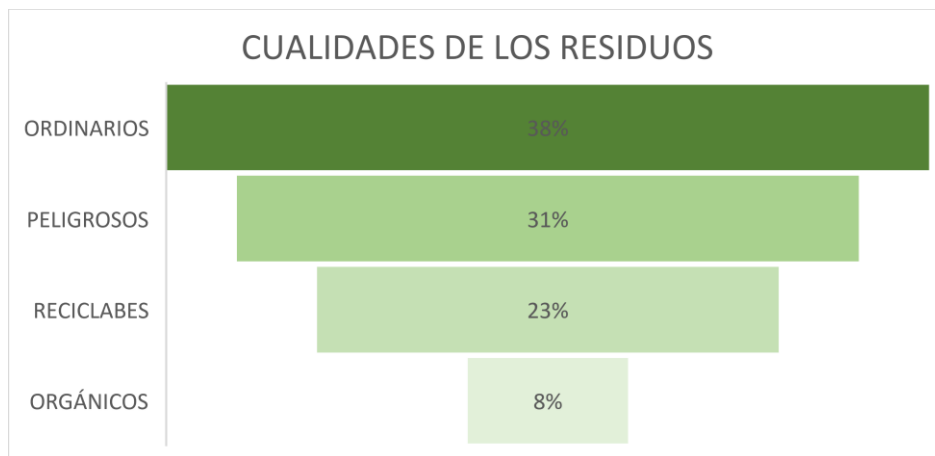


Figura 2. Clasificación de residuos generados en cultivos de flores en el municipio de La Ceja. *Giraldo y Alzate (2016).*

1. 2. 2. Impacto ambiental y económico

Estos residuos vegetales ofrecen una amenaza y una oportunidad según sea el manejo que se les dé. La amenaza ambiental que representan incluye la eutrofización de aguas si estos o sus lixiviados son dispuestos en cuerpos de agua; emisiones de CO_2 y de gases de invernadero si estos son quemados; y potenciales riesgos de magnificación de plaguicidas en la cadena trófica, si estos se dan como alimento al ganado y a otros animales (*Asocolflores, 2010*). Un manejo efectivo de estos residuos permitiría mitigar la contaminación, reducir el consumo de materias primas, incorporar residuos aprovechables en el proceso productivo y cumplir las normas legales ambientales vigentes, garantizando la eficiencia y competitividad del sector floricultor (*Gutiérrez y Monroy, 2004*).

Las plantaciones llegan a exportar cerca de 300.000 tallos en temporada alta y hasta 3 toneladas de desechos orgánicos al mes, utilizados para fertilizar los sembrados (ver figura 3), pero a un costo desfavorable para los floricultores. Una de las prácticas de aprovechamiento de residuos vegetales más implementadas es a través de la fertilización del suelo. Lastimosamente, esta técnica genera sobrecostos, pues implica contratar operarios extra, sin contar la maquinaria adecuada y los valores de transporte de la materia prima.



Figura 3. Residuos vegetales usados como compostaje en San Isidro. Fotografías de los autores.

1. 2. 3. Sostenibilidad

La alta cantidad de desechos se ha convertido en un dolor de cabeza para los floricultores ya que, por falta de conocimiento sobre como disponer el material residual y la falta de recursos para trabajarlo, optan por utilizar técnicas poco ortodoxas que traen consigo efectos negativos para el medio ambiente. A nivel global, los avances tecnológicos en ingeniería polimérica han ayudado a la comunidad científica a cambiar su enfoque de uso convencional de plásticos sintéticos por el de biopolímeros. Estos, al ser amigables con el medio ambiente en términos de biocompatibilidad y biodegradabilidad, exhiben un gran potencial de aplicación en las industrias alimenticias, agrícolas y biomédicas, en donde se pueden aprovechar elementos orgánicos de cada una como la materia prima del desarrollo (*Arif et al, 2022*).

Por otro lado, Ezio Manzini planteó el diseño sostenible como un enfoque filosófico del diseño de carácter social, tomando en cuenta factores ambientales y culturales en los procesos de producción, la materialidad y los usos posteriores a la vida útil de los objetos (*Balboa y Domínguez, 2014*). En este contexto, la sostenibilidad podría verse como una estrategia para la co-creación de metodologías y herramientas que permitan el desarrollo ambiental y social de la región, tomando como base la economía circular (ver figura 4). En ese sentido, uno de los marcos de trabajo de la sostenibilidad ambiental es la innovación a través de la investigación de materiales sostenibles, que dentro de sus capacidades de degradación ofrecen una oportunidad para la fabricación de productos capaces de solventar necesidades sin tener que atentar contra el medio ambiente al momento de desecharlos (*Jiménez, 2021*). Es por eso que los materiales sostenibles compuestos de celulosa permiten acceder a nuevas posibilidades para la industria de la floricultura, reduciendo los niveles de desechos que se generan en la producción, empaqueo y guardado, ya que, al ser un compuesto natural, es considerado como sustentable y renovable.

Localmente, diferentes investigadores y empresas han intentado elaborar materiales sostenibles a partir de contenido orgánico de diferentes fuentes vegetales, principalmente plantas, con resultados bastante prometedores. Científicos de la Universidad Nacional en conjunto con la Asociación de Floricultores fueron capaces de elaborar nuevas materias primas a partir de tallos de diferentes tipos de flores (*DICYT Agencia Iberoamericana para la difusión de la ciencia y la tecnología, 2009*). Luis Eduardo Garzón, maestro de la Escuela de Artes Plásticas, afirma que, gracias al aprovechamiento y transformación de estos residuos, se pudieron elaborar empaques para el transporte y almacenaje de flores y semilleros para la germinación de plántulas. El objetivo de este proyecto fue aprovechar los residuos producidos en cada uno de los diferentes procesos del sector que, anualmente ascienden en 1.700 toneladas. Adicionalmente, Garzón menciona que la calidad de cada producto elaborado depende del material con el que se realice y, a su vez, resaltó la ventaja que tiene la biodegradabilidad de estos productos, en donde su descomposición se tarda tan solo unas semanas y no 200 años, como suele ocurrir con otros materiales poliméricos (*DICYT Agencia Iberoamericana para la difusión de la ciencia y la tecnología, 2009*).



Figura 4. Diagrama del modelo de Economía Circular de la Ellen Macathur Foundation. Balboa y Dominguez, (2014).

2. Metodología

Se dividió en 4 momentos principales, cada uno correspondiente a un objetivo específico.

Caracterización de residuos:

En primera instancia, se realizó una salida de campo a la Plantación de Hortensias San Isidro, ubicada en el municipio de La Ceja, donde se reconocieron diferentes tipos de desechos agroindustriales, sus métodos de disposición o reciclaje y otras generalidades (ver figura 5).

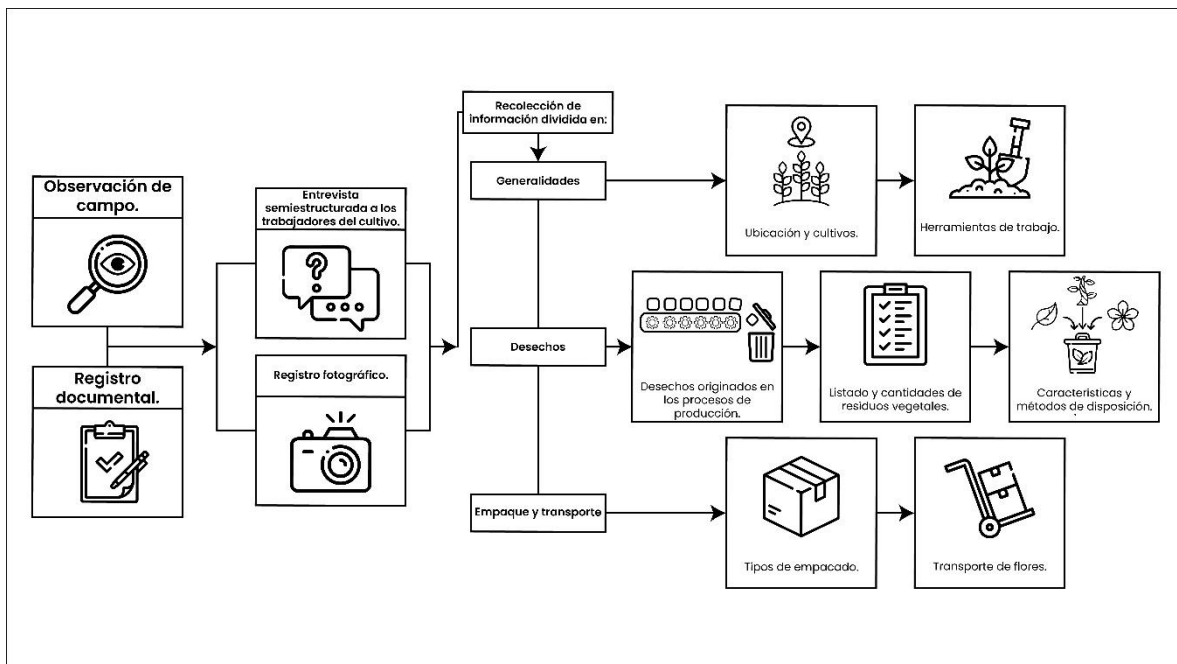


Figura 5. Metodología de recolección de información. Figura de los autores.

Definición de procesamientos para conformación de láminas:

Para la definición de los procesamientos más eficientes de conformación de láminas, se elaboró una biomasa a partir de residuos vegetales de hortensias (ver figura 6), utilizando diferentes combinaciones entre hojas, tallos y flores. Posteriormente, se buscaron procesos productivos convencionales de fabricación de láminas a base de celulosa, en donde se usó la biomasa como material principal. De los procesos consultados se encontraron: (i) el proceso de prensado (moldeo por presión con molde); (ii) proceso de separación de partículas (formación por acumulación de partículas por medio de un bastidor y cedazo); y (iii) el proceso de enlace de fibras (generación de uniones de las fibras). Teniendo como base 2 procesos principales, se iniciaron las experimentaciones con la biomasa en sus diferentes combinaciones junto con aglutinantes, rescatando las que mejores propiedades estructurales ofrecieron.

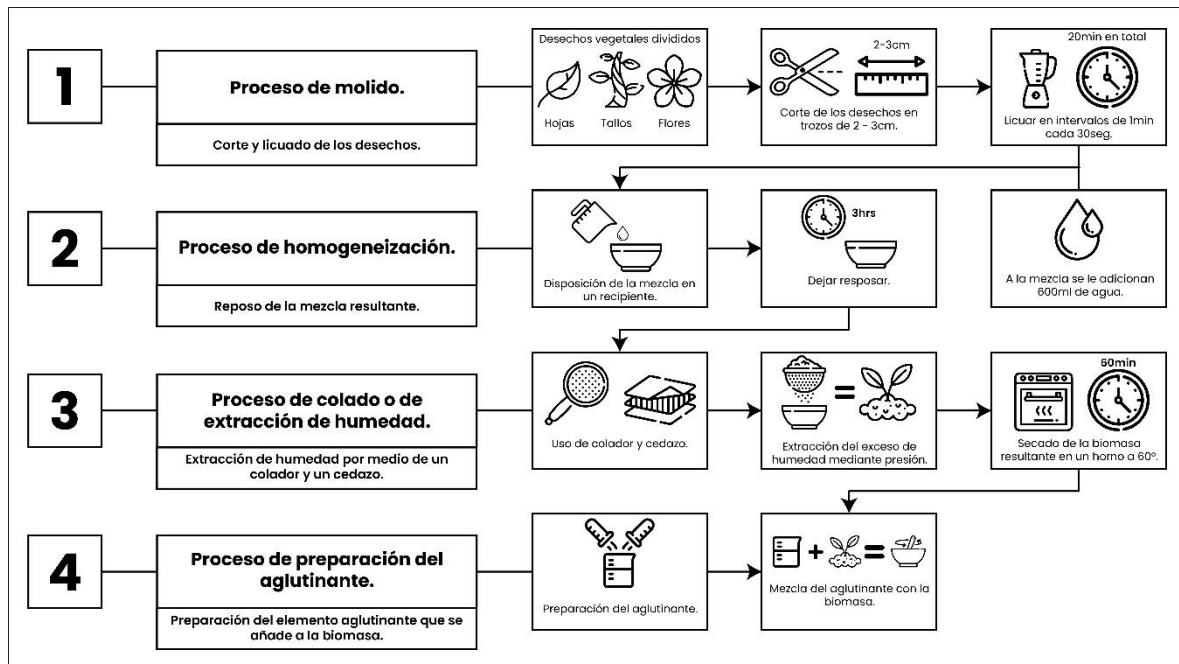


Figura 6. Proceso de conformación de biomasa. Figura de los autores.

Evaluación de propiedades estructurales y de resistencia a la humedad:

A las mejores muestras que resultaron de las experimentaciones se les agregó dos tipos de impermeabilizante, arcilla en polvo y parafina, para determinar cual proporciona mejores cualidades de resistencia a la humedad. Para esto, se realizó una prueba de absorción de humedad (ver figura 7), en donde se utilizó un termohigrómetro que se posicionó al interior de un contenedor sellado, junto con una cantidad de agua dispuesta en un beaker y las muestras anteriormente mencionadas. Al obtener los datos, el porcentaje total de absorción de humedad se calculó utilizando una fórmula en donde se comparó el peso de las láminas antes y después de ser ubicadas dentro del contenedor.

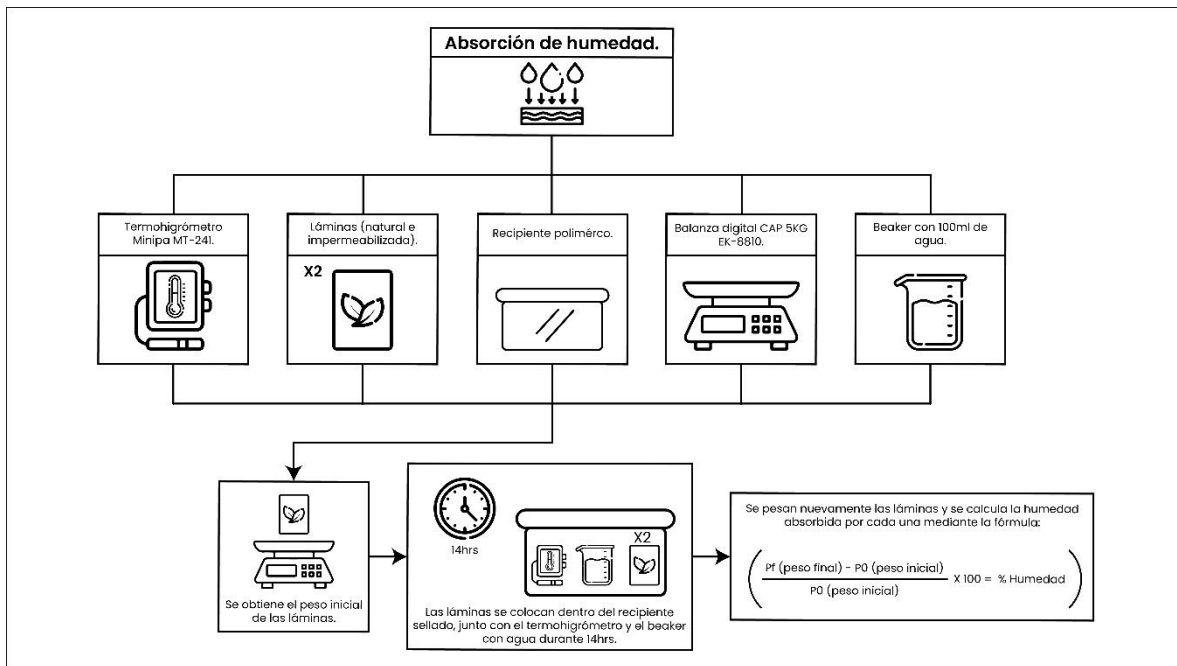


Figura 7. Ensayo de absorción de humedad o resistencia a la humedad. Figura de los autores.

Adicionalmente, mientras esta prueba se llevó a cabo, se realizaron los ensayos para definir la resistencia a la tracción de una lámina (ver figura 8), en donde se utilizaron diferentes probetas divididas según sus dimensiones y el material impermeabilizante agregado, en este caso, arcilla.

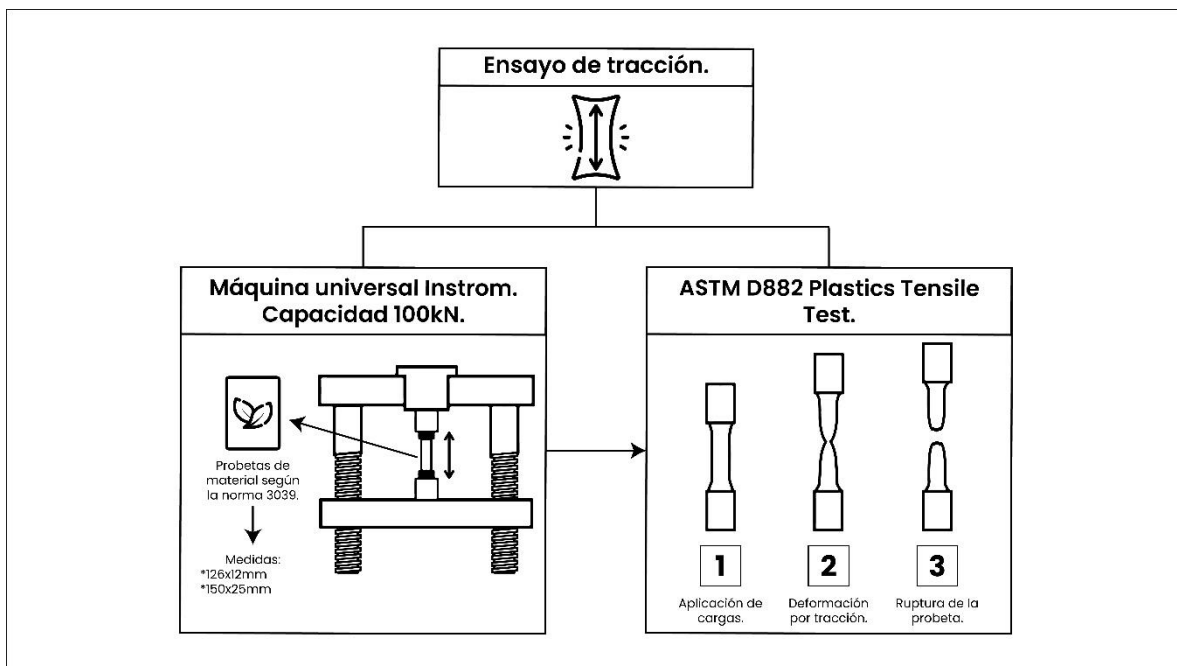


Figura 8. Ensayo de tracción. Figura de los autores.

Definición de las propiedades de adaptabilidad morfológica del material:

Una vez se tuvo el resultado de las pruebas de absorción de humedad y resistencia a la tracción, se procedió a elaborar un empaque especial para flores a escala, en donde se tuvieron en cuenta las dimensiones generales de las flores de exportación. Para esto, fue necesario la construcción un molde, con el fin de corroborar si el material permitía la conformación de un empaque laminar hondo para el embalaje de flores, a partir de dobleces y presión.

3. Resultados y discusión

Tras realizar la visita al cultivo de hortensias de San Isidro, además de ampliar el panorama sobre cómo se desarrollan las labores floricultoras y los medios de empaquetado de flores que se utilizan actualmente (ver figura 9), se logró hacer una caracterización específica de los desechos orgánicos e inorgánicos que se producen en este sector agroindustrial, identificando la oportunidad de hacer uso de partes específicas de la biomasa como los tallos, hojas y flores. De estas partes se originan grandes cantidades al mes: 10.000 tallos, 40.000 hojas y en cantidades mucho menores, pero poco cuantificables, flores. Estos son desechos que en la industria han recibido diferentes usos y/o prácticas relacionadas al compostaje, quema o disposición en rellenos sanitarios (ver figura 9).



Figura 9. Empaques para flores de exportación. Fotografías de los autores.

Residuos aprovechables de la agroindustria			
			
Residuos provenientes del sembrado	Tallos (15-20 cm)	Hojas (5-20 cm)	Flores marchitas o en mal estado
Usos y prácticas en la industria			
Se hace uso de un porcentaje de los desechos en el compostaje y el resto se divide.	Debido a su volumen usualmente se realiza una quema de estos.	En un porcentaje, son utilizados como compostaje o como método para evitar las plagas esparciéndolos en los suelos de los sembrados y el resto es acumulado para la descomposición.	

Figura 10. Residuos aprovechables de la agroindustria y sus posibles usos. Figura de los autores.

Una vez caracterizados los desechos, se analizaron manualmente en búsqueda de sus propiedades que pudieran servir para generar un material laminado con las características necesarias para mantener su estructura. Para esto, se hizo uso de un proceso de molido y se analizó el tamaño de las fibras y partículas, la forma y composición de estas y la homogeneidad del resultado (ver figura 10). Los tallos poseen fibras entre 2-7mm de largo (grandes), y evidencian una homogeneidad baja debido a los diferentes tejidos de estructuras celulares que los componen, resaltando partículas alargadas de las fibras estructurales del tallo y trozos de su núcleo poroso. Las hojas presentan gránulos de tamaño mediano más homogéneo, con poca dureza y una presencia media de fibras estructurales. Por último, las partículas de las flores al ser procesadas, debido a su estructura blanda, tienen un tamaño pequeño homogéneo que representa una presencia casi nula de fibras de refuerzo.

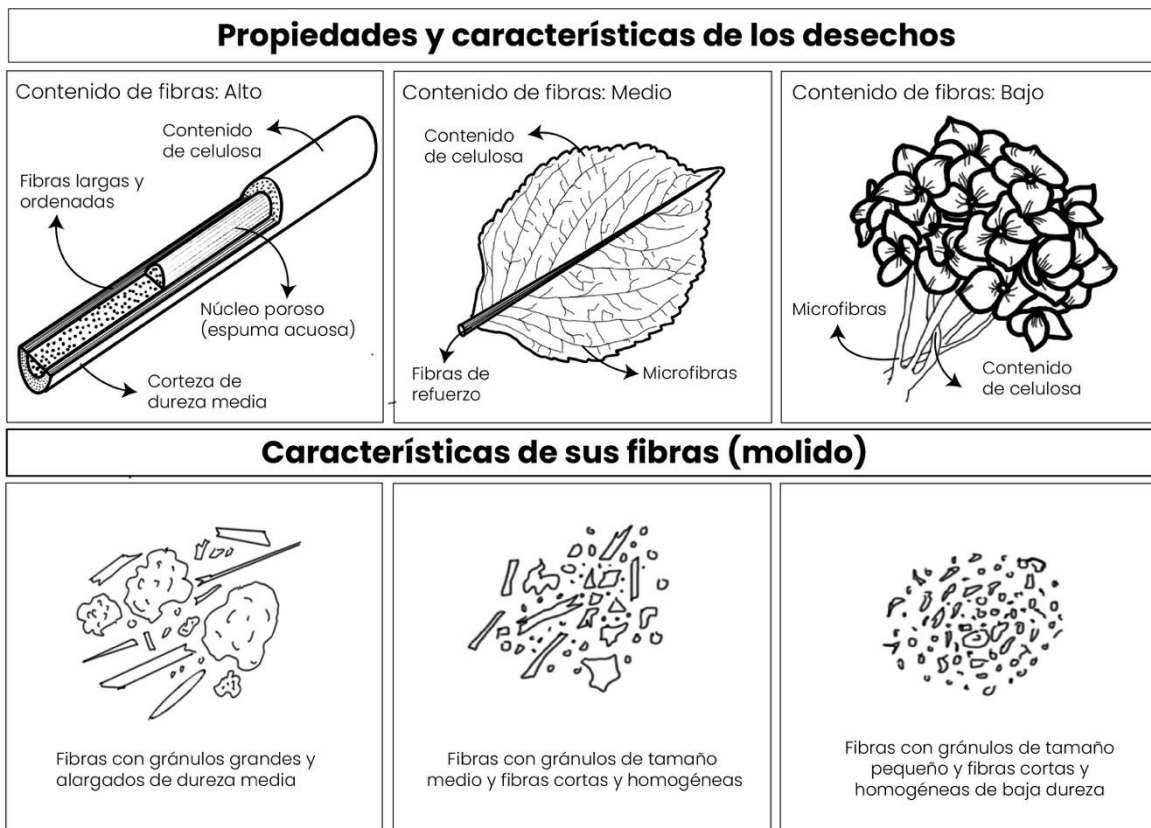


Figura 11. Propiedades y características de los desechos. Figura de los autores.

Estas propiedades permitieron el análisis de los procesos y resultados para la formación de una lámina a base de la biomasa, obtenida luego del proceso de molido y homogenización de diferentes combinaciones de desechos vegetales (ver figura 12). Siguiendo lo anteriormente mencionado, se realizó un proceso básico para la formación de biomasa (ver figura 13) que se convierte en la base a la cual se le puede agregar entes aglutinantes para su posterior conformación en un material laminar. Una vez realizadas las pruebas, se definió que las propiedades de los tres desechos en combinación tienen las características necesarias e idóneas para seguir la experimentación.



Figura 12. Muestras de caracterización de mezclas.



Figura 13. Proceso de conformación de biomasa. Figura de los autores.

Ya definida la metodología de procesamiento con la que se genera una base adecuada, se procede al uso de diferentes tipos de aglutinantes (matriz) que permiten la conformación estructural necesaria para cumplir con características mínimas de funcionamiento. Para esto, se precisaron diferentes mezclas y entes aglutinantes que en previas investigaciones y proyectos de referencia cumplieron con éxito esta labor. Entre estos se encuentran el Agar Agar, la gelatina sin sabor, la cáscara de plátano, la maicena y la glicerina, componentes que en diferentes combinaciones arrojaron diversas características para evaluar (ver figura 14).

Propiedades y características de los desechos



Figura 14. Resultados de la experimentación de aglutinantes. Figura de los autores.

El uso de diferentes aglutinantes en diferentes proporciones arrojó 9 resultados, unos con mejores características que otros para la intencionalidad buscada con la experimentación, que en este caso fue el desarrollo de un material laminar con propiedades similares a las del cartón u otros materiales a base de pulpa de celulosa (materiales frecuentemente utilizados para el embalaje de productos). Para esta experimentación se realizaron las siguientes pruebas:

- 1. Biomasa con Agar-agar:** 100gr de base de biomasa + 7.5gr de Agar-agar + 250ml agua. El resultado es una lámina con poca adhesión en sus partículas que difícilmente mantiene

su forma y estructura, debido a la falta de matriz aglutinante que mantenga las fibras enlazadas entre sí.

2. **Biomasa con cáscara de plátano:** 100gr de biomasa + 1 cáscara de plátano maduro. El resultado es una nula unión entre las fibras (refuerzos) debido a la ausencia de un agente aglutinante (matriz) que mantenga la unión entre las partículas, mostrando una lámina sin estructura que se desmorona fácilmente frente a cualquier esfuerzo.
3. **Biomasa con doble cáscara de plátano:** 100gr de biomasa + 2 cáscaras de plátano maduro. Al igual que la experimentación anterior, la presencia de un ente aglutinante es nula para la generación de una lámina con unión de partículas, pues no hay una matriz que permita estructurar una superficie laminar sólida.
4. **Biomasa con Agar-agar y doble cáscara de plátano:** 100gr de biomasa + 2 cáscaras de plátano + 7.5gr de Agar-agar. A diferencia de los dos experimentos pasados, en este se evidencia una buena unión entre las fibras, permitiendo la formación de una lámina estructurada. Sin embargo, tiene características de flexibilidad que no favorecen las propiedades buscadas en la experimentación.
5. **Biomasa con Agar-agar, maicena y glicerina:** 200gr de biomasa + 15gr de Agar-agar + 5ml de glicerina + 15ml de maicena + 250ml de agua. El material presenta buenas cualidades de rigidez y unión entre las fibras, permitiendo la formación de una lámina que cumple de buena manera con lo buscado por la experimentación, sin embargo, luego alrededor de 1 hora comienza a absorber humedad del ambiente con facilidad, lo que hace que pierda parcialmente esas propiedades de rigidez.
6. **Biomasa húmeda con Agar-agar, maicena y glicerina (sin horno):** 200gr de biomasa + 15gr de Agar-agar + 5ml de glicerina + 15ml de maicena + 250ml de agua. El resultado es una lámina flexible con exceso de humedad que evita la unión entre las fibras y genera grietas en su estructura.
7. **Biomasa con Agar-agar, maicena, glicerina y arcilla:** 200gr de biomasa + 15gr de Agar-agar + 5ml de glicerina + 15ml de maicena + 250ml de agua + 2gr de arcilla en polvo. Debido a que el experimento #5 resultó ser un material con óptimas características, se buscó la manera de aumentar la resistencia a la humedad, por lo cual se decidió integrar en la mezcla alrededor de 0.7 al 1% de arcilla en polvo para fomentar la impermeabilidad del material, generando una lámina con buenas características de rigidez y unión de las fibras, con cualidades parecidas a las del cartón y el corcho.
8. **Biomasa con Agar-agar, maicena, glicerina y arcilla (sin horno):** 200gr de biomasa + 15gr de Agar-agar + 5ml de glicerina + 15ml de maicena + 250ml de agua + 2gr de arcilla en polvo. Al realizar las pruebas sin hacer uso del horno como método de secado, el resultado fue una lámina con características medianamente similares a la anterior, sin embargo, es notoriamente más rígida y no permite una adecuada manipulación.
9. **Biomasa con Agar-agar, maicena, glicerina (en molde):** 200gr de biomasa + 15gr de Agar-agar + 5ml de glicerina + 15ml de maicena + 250ml de agua + 2gr de arcilla en polvo. Al obtener resultados aceptables en la experimentación #7, se realizó una prueba estructural con la formación de un molde, generando un contenedor tridimensional con buenas características de resistencia estructural que nos permitió definir la metodología idónea para la fabricación de empaques con este material laminar.

Una vez se logró definir cuál es la metodología y mezcla de materiales adecuada para la generación del material laminar, se pasó a la validación de cuál es el método idóneo para transformarlo en un empaque bajo las características mínimas de los embalajes tradicionales. Para esto, se definió el proceso de plegado y grafado (ver figura 16) para lo cual, antes hubo que llevar a cabo un proceso de laminado (ver figura 14) por medio de la conformación de matriz por presión (moldeado) (ver figura 17).

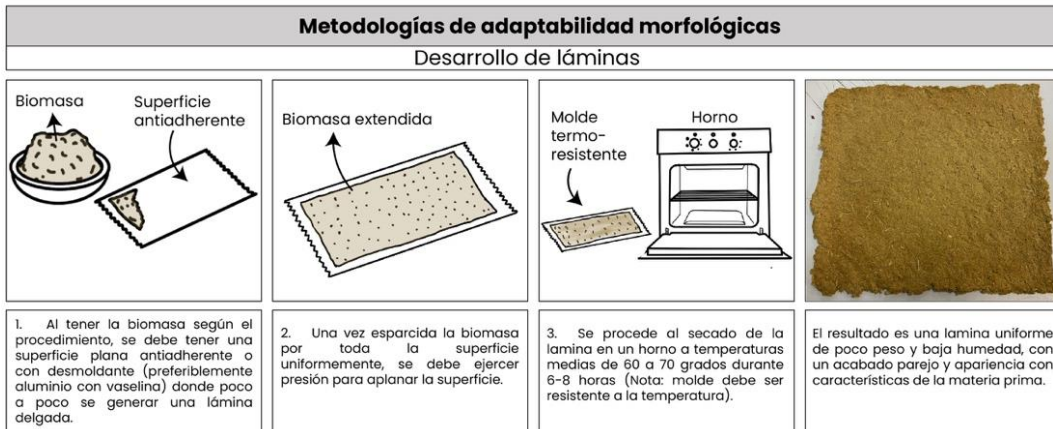


Figura 15. Desarrollo de láminas. Figura de los autores.

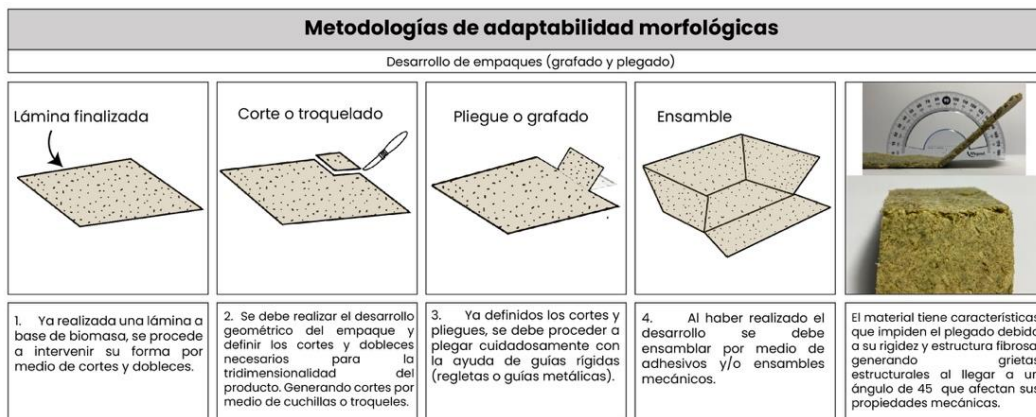


Figura 16. Desarrollo de empaques (grafado y plegado). Figura de los autores.

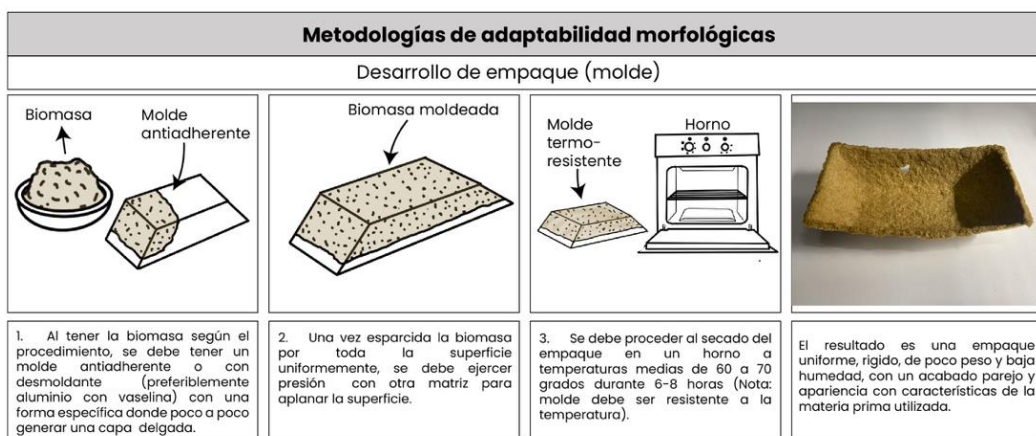


Figura 17. Desarrollo de empaques (molde). Figura de los autores.

Todas estas pruebas realizadas demostraron que de los métodos elegidos para la adaptabilidad morfológica del empaque, el que cumple de una mejor manera es el desarrollo de un molde

(adaptabilidad morfológica por matriz y presión), pues los resultados de las pruebas de plegado (figura 16) no favorecieron el desempeño del mismo.

Así, habiendo definido el procesamiento y la fabricación, se hizo la validación del material por medio de pruebas de resistencia y medición de cualidades específicas necesarias para el funcionamiento:

Resistencia a la tracción

Para cumplir con los objetivos funcionales y características mínimas de uso de empaques, se evaluaron las propiedades estructurales y de resistencia a la tracción de la lámina desarrollada con el procedimiento definido, para que pueda ser implementado en el empaqueo de flores. Para llevar a cabo las pruebas, se usaron 6 probetas (ver figura 18) con diferentes variables (ver tabla 1).

Tabla 2. Características y cargas máximas empleadas en las diferentes muestras. Tabla de los autores.

Etiqueta de la probeta	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Área (mm ²)	Carga Maxima (kgf)	Esfuerzo Maximo (MPa)	Esfuerzo Maximo (MPa)
Natural grande	28.47	1.60	45.55	1.29	0.28	32.34
Arcilla grande	26.42	3.27	86.39	1.67	0.19	20.13
Natural delgada	21.49	2.96	63.61	1.80	0.28	20.45
Arcilla delgada	17.45	3.28	57.24	1.10	0.19	12.43
Natural corta	30.74	2.54	78.08	1.71	0.21	8.91
Arcilla corta	31.03	2.96	91.85	3.06	0.33	16.35

Estas probetas fueron sometidas a un ensayo de tracción en una máquina universal Instron, en donde cada una debía estar acomodada según la normativa 3039 para ensayos de resistencia estructural. Dentro del ensayo, cada probeta fue sometida a tensión hasta alcanzar su punto de ruptura (punto máximo), donde la máquina arrojó una esquematización del comportamiento de cada una de las muestras (figura 19). Luego de la realización de esta prueba, se pudo identificar en las muestras con contenido de arcilla en polvo, una mejor resistencia en comparación con las otras probetas, esto presuntamente debido a la calidad de uniones entre fibras, lo homogéneo de sus partículas y la rigidez que esta le aporta al material.



Figura 18. Probetas. Figura de los autores.

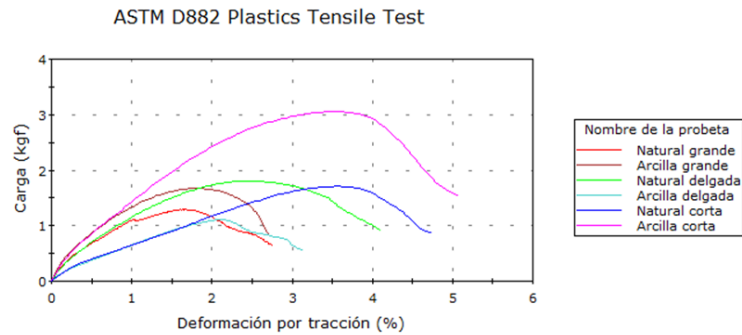


Figura 19. Gráfico de comportamiento de las pruebas de tracción. Figura de los autores.

Resistencia a la humedad

Las pruebas de resistencia a la humedad fueron realizadas por medio de la elaboración de una cámara de ambiente controlado, donde se pudo mantener la humedad del ambiente (75%) lo más estable y medible posible durante un período de tiempo determinado (14 Horas). Una vez realizado todo el procedimiento, se aplicó la fórmula para encontrar cual fue el porcentaje de absorción de humedad que tiene el material. La fórmula utilizada para las pruebas fue:

$$\left(\frac{Pf(\text{peso final}) - P0(\text{peso inicial})}{P0(\text{peso inicial})} \times 100 = \% \text{Humedad} \right)$$

La prueba se realizó con dos muestras en iguales condiciones, sin embargo, una de estas contaba con una proporción de arcilla del 1% de su peso, obteniendo como resultado que la muestra con el contenido de arcilla es capaz de reducir en un 10% la absorción de humedad en el material laminar, esto comparandolo con la muestra sin el agregado de arcilla. Después de aplicar la fórmula, se evidenció que la natural tuvo un 17.3% de absorción y la muestra con arcilla tuvo una absorción de humedad del 7.05%.

Material a base de Biomasa

Una vez realizadas todas las pruebas y luego de comparar los resultados, se determinó que la metodología a seguir para la realización de este tipo de materiales, esta basada en 200gr de biomasa + 15gr de Agar-agar + 5ml de glicerina + 15ml de maicena + 250ml de agua + 2gr de arcilla en polvo. Posteriormente, se realizó un empaque con base en este material (figura 20).



Figura 20. Aplicación experimental del material en empaque a escala. Figura de los autores.

4. Conclusiones

Con respecto a la pregunta de investigación, se puede concluir que los residuos agroindustriales vegetales provenientes de la producción de hortensias se pueden aprovechar satisfactoriamente para generar materiales laminares sostenibles, capaces de ser implementados en el empaque de flores, gracias a su alto contenido de celulosa, presencia fibras unificadoras que proporcionan estructura, cualidades de resistencia a la humedad, resistencia a la tracción y de adaptabilidad morfológica por matriz y presión.

Por otro lado, la mezcla de fibras que conforman los tallos, hojas y flores propician una estructura óptima para la formación de láminas por procesos de conformación por matriz y presión. Sin embargo, las fibras de los tallos a pesar de que ayudan a mantener una estructura rígida, son más grandes en comparación a las fibras que conforman el papel o el cartón, imposibilitando que su estructura sea lo suficientemente homogénea para permitir intervenciones morfológicas de la lámina por medio de acciones como el cortado y grafado.

Adicionalmente, el uso de la arcilla en la preparación de la biomasa resulto ser un excelente material impermeabilizante, representando un 10% menos de absorción de agua que una lámina natural. A pesar de esto, es importante considerar la cantidad de material que se adiciona a la mezcla; a mayor cantidad de arcilla aplicada en la mezcla, la lámina adquiere propiedades similares a la cerámica aumentando la rigidez y al mismo tiempo siendo un material frágil.

Por último, secar las muestras en horno permiten una evaporación de la humedad más controlada, ya que, se puede manejar la temperatura y el tiempo de exposición de la muestra en comparación con las muestras secadas en la intemperie.

5. Agradecimientos


Agradecemos a los docentes Ever Patiño Mazo y Alejandro Alberto Zuleta Gil, por las asesorías brindadas, el acompañamiento constante, la paciencia y la entera disposición en el desarrollo de este proyecto en cada una de sus etapas. Adicionalmente, agradecemos a la Facultad de Diseño Industrial, específicamente a sus laboratorios, por brindarnos equipo de trabajo requerido para el desarrollo de los ensayos de resistencia a la tracción por medio de una máquina universal y de absorción de humedad.

Agradecemos a la Plantación de hortensias de San Isidro y a todo su personal por el apoyo constante, su cordialidad y por la entrega de todo el material residual vegetal utilizado para el desarrollo de las experimentaciones.

6. Referencias

1. Aguirre-López, M. A., Alzate, J. A. & Cano, N. A. (2017). Evaluación de la carga ambiental asociada a un cultivo de hortensias en La Ceja del Tambo (Antioquia-Colombia) mediante el Análisis de Ciclo de Vida. *Gestión y Ambiente*, 20(2), 210-221.
<https://doi.org/10.15446/ga.v20n2.65138>
2. Arif, Z.U., Khalid, M.Y., Sheikh, M.F., Zolfagharian, A. and Bodaghi, M. (2022). Biopolymeric sustainable materials and their emerging applications. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 10 (4): 108159. ISSN 2213-3437
<https://doi.org/10.1016/j.jece.2022.108159>
3. Asociación Colombiana de Exportadores de Flores (Asocolflores), 2015. Boletín estadístico. Disponible en: <http://asocolflores.net.co/comunicaciones/centro-dedocumentacion/> 21#; consultado: septiembre de 2017
4. Balboa C., C. H. & Domínguez Somonte, M. (2014). Circular economy as an ecodesign framework: the ECO III model. *Informador Técnico*, 78(1), 82.
<https://doi.org/10.23850/22565035.71>
5. Bioenergía con Residuos Vegetales. (2012, 15 marzo). Red de desarrollo sostenible.
<https://www.rds.org.co/es/novedades/bioenergia-con-residuos-vegetales>
6. Carvajal Flórez, E., Giraldo Gonzáles, L. & Álzate Restrepo, L. A. (2016b). Evaluación de la gestión de los residuos sólidos en pequeños floricultivos del Municipio de La Ceja Antioquia. [Trabajo de grado]. Corporación Universitaria Lasallista.
<http://repository.unilasallista.edu.co/dspace/handle/10567/2051>
7. David Pimentel, Bonnie Berger, David Filiberto, Michelle Newton, Benjamin Wolfe, Elizabeth Karabinakis, Steven Clark, Elaine Poon, Elizabeth Abbett, Sudha Nandagopal, Water Resources: Agricultural and Environmental Issues, *BioScience*, Volume 54, Issue 10, October 2004, Pages 909–918, [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2004\)054\[0909:WRAAEI\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2004)054[0909:WRAAEI]2.0.CO;2)
8. Daza Torres, M. C. (2014). Aplicación de compost de residuos de flores en suelos ácidos cultivados con maíz (*Zea mays*). *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 23(3), 22-29. [fecha de Consulta 8 de Noviembre de 2022]. ISSN: 1010-2760. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=93231384004>
9. Dueñas-Ocampo, S., Perdomo-Ortiz, J. & Villa Castaño, L.E. (2021) La separación entre sostenibilidad organizacional y desarrollo sostenible: una reflexión sobre herramientas

- emergentes para disminuir la brecha. *Innovar*, 31(80) 113-128.
<https://doi.org/10.15446/innovar.v31n80.93668>
10. Gómez Velásquez, C y García Gutiérrez, C. (2007). Floricultoras en el oriente antioqueño. Escuela Nacional Sindical. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/57809>
 11. Jaramillo Henao, G. & Zapata Márquez, L. M. (2008). APROVECHAMIENTO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS EN COLOMBIA. Biblioteca digital UdeA. <https://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/45/1/AprovechamientoRSOUenColombia.pdf>
 12. Jiménez Molina, N. (2022). Informes de sostenibilidad de las organizaciones. Universidad Santo Tomás. <http://hdl.handle.net/11634/43140>
 13. Tiempo, R. E. L. (2017, 4 mayo). Emprendimiento de 'tallo' mundial. *El Tiempo*. <https://www.eltiempo.com/vida/medio-ambiente/emprendimiento-colombiano-bioestibas-84184>
 14. Lugo, J. J. (2017, 12 octubre). Bioestibas fabricadas con desecho agrícola. Revista digital de diseño y desarrollo de productos. | IDEASDI.com. <https://ideasdi.com/noticias-diseno-industrial/bioestibas-agricola/>
 15. Gaitán, K. V. (2017, 18 abril). Con desechos de floricultura hacen empaques de exportación. Periódico *El Campesino* "La voz del campo colombiano". <https://elcampesino.co/desechos-floricultura-hacen-empaques-exportacion/>
 16. Hortensia - Información sobre la planta - Propiedades y cultivo. (s. f.). https://www.elicriso.it/es/como_cultivar/hortensia/
 17. Monroy Rojas, D. P. & Gutiérrez Villamizar, R. G. (2013, 10 mayo). Diagnóstico de la situación actual de C.I. Flores La Conejera LTDA enfocado en los aspectos ambientales del programa Florverde. Universidad de la Sabana. <http://hdl.handle.net/10818/7148>
 18. Manrique Ramírez, L. N. (2015). Floricultura colombiana en contexto: experiencias y oportunidades en Asia pacífico. *Revista Digital Mundo Asia Pacífico*, 3(5), 52-79. <https://doi.org/10.17230/map.v3.i5.03>
 19. Ministerio de Comercio, Industria y Turismo (Min-CIT), 2016. Análisis de exportaciones 2016. Disponible en: <http://www.mincit.gov.co/publicaciones/47/>
 20. DiCYT, A. (2009). Desechos de flores convertidos en icopor biodegradable. <https://www.dicyt.com/noticias/desechos-de-flores-convertidos-en-icopor-biodegradable>
 21. Tilman, D. (1999). Global environmental impacts of agricultural expansion: The need for sustainable and efficient practices. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 96(11), 5995-6000. <https://doi.org/10.1073/pnas.96.11.5995>
 22. Suarez, L. F. E. (2021, 9 noviembre). Aprovechamiento de los residuos generados en la industria de la floricultura para la producción de etanol y furfural - hdl:20.500.12010/22274. <https://expeditiorepositorio.utadeo.edu.co/handle/20.500.12010/22274>
 23. Pimentel, D., Berger, B., Filiberto, D., Newton, M., Wolfe, B., Karabinakis, E., Clark, S., Poon, E., Abbett, E. & Nandagopal, S. (2004). Water Resources: Agricultural and Environmental Issue. *BioScience*, Volume 54(Issue 10), 909-918. [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2004\)054\[0909:WRAAEI\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2004)054[0909:WRAAEI]2.0.CO;2)
 24. Singh, R. (2000). Environmental consequences of agricultural development: a case study from the Green Revolution state of Haryana, India. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 82(1-3), 97-103. [https://doi.org/10.1016/s0167-8809\(00\)00219-x](https://doi.org/10.1016/s0167-8809(00)00219-x)
 25. Parra Soto, V. (2022). Economía circular una oportunidad latente en Colombia. Universidad Santo Tomás. <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/42674>

26. López-Martínez, A., Bolio-López, G. I., Veleza, L., Solórzano-Valencia, M., Acosta-Tejada, G., Hernández-Villegas, M. M., Salgado-García, S., & Córdova-Sánchez, S. (2016). OBTENCION DE CELULOSA A PARTIR DE BAGAZO DE CANA DE AZUCAR (Saccharum spp.). AGROProductividad, 9(7), 41+. <https://link.gale.com/apps/doc/A535100928/IFME?u=anon~469b2c23&sid=googleScholar&xid=fcb52be1>
27. Pinos, A.; Braulio, J. "Modificación de la celulosa obtenida de la fibra de banano para el uso de polímeros biodegradables". Afinidad. Journal of Chemical Engineering Theoretical and Applied Chemistry, 2019, Vol. 76, Num. 585, <https://raco.cat/index.php/afinidad/article/view/353398>.
28. Villach, Q. G. (2022, 8 noviembre). Las 9 R de la Economía Circular  Sostenibilidad. Sostenible o Sustentable. <https://sostenibleosustentable.com/es/economia-verde/9-r-de-la-economia-circular/>