



Universidad de Chile  
Facultad de Arquitectura y Urbanismo  
Escuela de Diseño  
Seminario de Procesos de Producción  
y Materiales Industriales

# COLIHUE

Aporte estructural y decorativo en su aplicación  
como refuerzo en matrices de origen polimérico.

Alumnos  
Constanza Cuitiño.Álvaro Castillo  
Profesor Guía  
Paola de la Sotta

# Índice

<b>Capítulo I</b>	.....	<b>4</b>
1.1 Introducción	.....	<b>4</b>
1.2 Relevancia	.....	<b>5</b>
1.3 Área de Trabajo	.....	<b>5</b>
1.4 Problemática	.....	<b>6</b>
1.5 Problema	.....	<b>6</b>
1.6 Hipótesis	.....	<b>7</b>
1.7 Objetivo General	.....	<b>7</b>
1.8 Objetivos Específicos	.....	<b>7</b>
1.9 Desarrollo Estratégico	.....	<b>8</b>
1.9.1 Contexto del cliente	.....	<b>8</b>
1.9.2 Misión	.....	<b>8</b>
1.9.3 Visión	.....	<b>8</b>
1.10 Definición de Metodología	.....	<b>11</b>
<b>Capítulo II Antecedentes</b>	.....	<b>12</b>
2.1 Colihue	.....	<b>12</b>
2.1.1 Geografía y cultivo del Colihue en Chile.	.....	<b>12</b>

2.1.2 Caracterización tecnológica.	13
2.1.2.1 Morfología y Determinaciones Tecnológicas	13
2.1.2.2 Propiedades químicas	15
2.1.2.3 Propiedades Mecánicas del culmo	16
2.1.3 Procesos Relacionados y Producto Final	16
2.1.4 Demanda y Mercados	18
2.1.4.1 Segmento agrícola	18
2.1.4.2 Muebles y artículos utilitarios	18
2.1.5 Materiales compuestos	19
2.1.5.1 Definición del concepto	19
2.1.5.2 Propiedades	19
2.1.5.3 Tipos	20
2.1.5.4 Fase de reforzamiento	22
2.1.5.4.1 Fibras	22
2.1.5.4.1.1 Fibras continuas, unidimensionales.	23
2.1.5.4.1.2 Fibras continuas, planas, en forma de tejido.	23
2.1.5.4.1.3 Fibras discontinuas, al azar	23
2.1.5.4.2 Partículas	23
2.1.5.4.3 Hojuelas	24

2.1.5.5 Referentes de Reforzamientos	.....	<b>24</b>
2.1.5.6 Tipología de polímero para materiales compuestos	.....	<b>25</b>
2.1.5.7 Refuerzos de origen celulósico.	.....	<b>25</b>
2.1.5.7.1 Estado del arte	.....	<b>25</b>
2.1.5.7.1.1 Abacá	.....	<b>26</b>
2.1.5.7.1.2 Lino, sisal, cáñamo	.....	<b>26</b>
2.1.5.7.1.3 Palma	.....	<b>27</b>
2.1.5.7.1.4 Bambú	.....	<b>27</b>
2.1.5.7.1.5 Mat Flex-form	.....	<b>27</b>
2.1.5.7.1.6 Industria automotriz	.....	<b>28</b>
<b>Capítulo III Desarrollo metodología experimental</b>	.....	<b>29</b>
3.1 Experimentación	.....	<b>29</b>
3.1.1 Formato placa	.....	<b>30</b>
3.1.2 Formato listón	.....	<b>36</b>
3.2 Conclusiones de la experimentación	.....	<b>39</b>
<b>Capítulo IV Aplicación del material</b>	.....	<b>39</b>
4.1 Aplicaciones	.....	<b>40</b>
Conclusiones	.....	<b>41</b>
Bibliografía	.....	<b>42</b>

## Capítulo I

# 1.1 Introducción

En la actualidad, existe una constante búsqueda por el desarrollo de nuevos materiales que logren satisfacer eficazmente las crecientes necesidades de los mercados, materiales que abarquen la enorme demanda constructiva y que a su vez, sean sustentables.

Chile es un país tradicionalmente forestal y tenemos la ventaja de disponer de especies arbóreas exóticas de gran crecimiento así como especies arbóreas nativas de alto valor. En Chile existen, para el desconocimiento de muchos; 11 especies autóctonas conocidas de bambú, todas ellas pertenecientes al género *Chusquea*, que se encuentran tanto en la Cordillera de los Andes como en la Cordillera de la Costa. Las principales cañas de bambú chileno son la Quila (*Chusquea quila*) y el Colihue (*Chusquea coleou*). Estas especies destacan por su alto grado de endemismo y por representar la principal formación de bambusáceas sólidas en el mundo.

Las bambusáceas chilenas como elemento natural, presentan propiedades favorables para su explotación en relación a sus niveles de productividad con un corto plazo de maduración para poder ser procesadas y cuentan además con bajos índices de impacto ambiental. Como país tenemos la oportunidad de producir una fuente alternativa de materia prima, muy versátil y que puede contribuir en forma complementaria a la generación de riqueza al país y en particular a comunidades de menores recursos económicos.

Si bien, sus posibilidades tecnológicas y constructivas como formato caña no escapan de lo tradicionalmente visto; encontramos en el colihue un gran potencial como refuerzo estructural de otros materiales, principalmente de origen plástico. Un posible refuerzo, que en la actualidad se han convertido en una tendencia para la investigación y el desarrollo; son las fibras de origen vegetal o bio fibras. Que, además de mejorar técnicamente el producto deseado, presentan ventajas económicas y ambientales.

Con la investigación desarrollada en este seminario, pretendemos descubrir las posibilidades en el desarrollo del Colihue como refuerzo en la producción de matrices de origen polimérico, sus ventajas, desventajas y aportes estéticos de esta nueva aplicación.

## 1.2 Relevancia

La generación masiva de materiales plásticos y sus posteriores residuos constituye actualmente un gravísimo problema medioambiental. Una de las estrategias desarrolladas para paliarlo consiste en el reciclaje de los residuos plásticos y para su reutilización en diferentes aplicaciones. La incorporación de refuerzos en el material reciclado mejora las propiedades mecánicas del mismo. Un posible refuerzo son las fibras de origen vegetal o bio fibras, que, además de mejorar técnicamente el producto, presentan ventajas económicas y ambientales.

En la actualidad, existe una constante búsqueda por el desarrollo de nuevos materiales que logren satisfacer eficazmente las crecientes necesidades de los mercados, materiales que abarquen la enorme demanda constructiva y que a su vez, sean sustentables.

Las bambusáceas chilenas como elemento natural, presentan propiedades favorables para su explotación en relación a sus niveles de productividad con un corto plazo de maduración para poder ser procesadas y cuentan además con bajos índices de impacto ambiental.

## 1.3 Área de Trabajo

Nuestra investigación se desarrolla en el marco de la experimentación de recursos naturales chilenos, específicamente en la utilización del colihue como materia prima en materiales compuestos, aprovechando tanto sus cualidades estéticas como sus propiedades físicas.

## 1.4 Problemática

Entendemos la actual demanda de materiales existente en el mercado, en donde día a día resulta cada vez más necesario equilibrar el desarrollo industrial con la integridad ecológica de nuestro medio ambiente y, es por esto que resulta vital buscar nuevas alternativas en las diversas áreas de la producción nacional que logren conjugar satisfactoriamente los aspectos productivos y ecológicos, al mismo tiempo que permita reforzar nuestro papel productivo a nivel internacional. Es en este contexto en el que establecemos el estudio del colihue como material compuesto, pues sus cualidades productivas en cuanto a costos, cuidado e impacto ambiental, además de sus características estructurales, nos auguran un gran potencial de viabilidad.

## 1.5 Problema

De la problemática surge nuestro problema; ¿De qué forma el colihue como complemento para matrices plásticas puede presentar procesos productivos que lo ayuden a ser un material versátil que satisfaga tanto las exigencias del mercado, como las medioambientales, considerando a su vez nuestras circunstancias nacionales?. Establecemos la utilización del colihue como complemento a las matrices de compuestos poliméricos comprendiendo que esta condición complementaria puede ser analizada tanto del punto de vista de las propiedades físicas del material resultante, como de sus cualidades estéticas o facilidades técnicas.

## 1.6 Hipótesis

El uso del Colihue como refuerzo en la construcción de matrices poliméricas permitiría una reducción energética en su producción al sustituir materiales más contaminantes de uso actual, tales como la fibra de vidrio.

## 1.7 Objetivo General

Comprobar la factibilidad del uso del Colihue como bio-refuerzo en materiales compuestos del tipo polimérico.

## 1.8 Objetivos Específicos

-Establecer las propiedades físicas y mecánicas mediante la realización de probetas distintos formatos de matrices poliméricas y en diferentes configuraciones del material (chip, fibra, varillas, aserrín, etc.), en el Colihue como refuerzo de la resina.

-Determinar cuáles son las cualidades, tanto virtudes como defectos de la utilización del colihue como refuerzo estructural, mediante los resultados obtenidos a través de las probetas de experimentación.

-Determinar mediante el uso de diversos formatos del Colihue, el valor estético de la aplicación de éstos en la fabricación de composites de origen polimérico.

## 1.9 Desarrollo Estratégico

Contextualizándonos como Consultora de Diseño Industrial, con un material y procesos a potenciar, escogemos nuestra imagen corporativa, determinamos el contexto del cliente y nuestros objetivos como consultora.

### 1.9.1 Contexto del cliente

En la actualidad, existe una constante búsqueda por el desarrollo de nuevos materiales que logren satisfacer eficazmente las crecientes necesidades de los mercados, materiales que abarquen la enorme demanda constructiva y que a su vez, sean sustentables. Las bambusáceas chilenas como elemento natural, presentan propiedades favorables para su explotación en relación a sus niveles de productividad con un corto plazo de maduración para poder ser procesadas y cuentan además con bajos índices de impacto ambiental. Consideramos esto como una oportunidad ante la gran necesidad de reducir peso e incrementar la funcionalidad para el desarrollo de los plásticos reforzados con elementos de origen natural

### 1.9.2 Misión

Crear una nueva fuente de conocimiento tecnológico y productivo mediante la investigación y experimentación de la factibilidad del uso del Colihue como bio-refuerzo en composites del tipo polimérico. La cual será traducida en un material con potencial capacidad estructural, estética y sustentable.

### 1.9.3 Visión

Ser la oficina de Diseño Industrial líder en el mercado de la generación de productos a partir del conocimiento tecnológico presentado a continuación. Satisfaciendo de ésta forma las necesidades materiales y ambientales demandadas hoy en día.





INDUSTRIA ACTUAL  
DEL COMPOSITE



BIO-COMPOSITES



FIBRAS NATURALES



INDUSTRIA TRADICIONAL  
DE LA FIBRA



tremün

## 1.10 Definición de Metodología

Mediante el transcurso de la investigación y la recolección de antecedentes que se presenta a continuación, descubrimos que las fibras de origen celulósico tienen las siguientes ventajas sobre otros materiales de refuerzo: baja densidad, biodegradabilidad, flexibilidad durante el procesamiento así como un menor precio.

Las fibras de colihue se pueden utilizar ya sea como fibras continuas, como colchoneta o entramado. Sin embargo, la utilización de fibras de origen celulósico como agentes de refuerzo se ve limitada por la dificultad de obtener una buena adhesión y dispersión en la matriz. Debido a la presencia de los grupos OH, las fibras de celulosa tienen una alta cohesión molecular por lo que tienen poca compatibilidad con las resinas poliéster. A través de un proceso de probetas, pretendemos poner a prueba diversos formatos para reforzar la resina, que pueden obtenerse de la vara del Colihue, con resina poliéster (ya que es la más comercializada para usos que no necesariamente son industriales, y son de fácil accesibilidad en el mercado).

La base de nuestra investigación es corroborar mediante experimentación, la viabilidad del colihue como material de refuerzo en matrices poliméricas. El programa consiste en la construcción de probetas con distintos formatos de la vara del colihue (secciones circulares, elípticas, longitudinales, fibra, cáscaras) y con ubicaciones diferentes (aleatorias, paralelas, entramado, etc.) inmersos en resina poliéster.

Para el desarrollo del planteamiento de problema, hemos seleccionado una investigación del tipo experimental, la cual consiste en que nosotros como equipo investigador no sólo podamos identificar las variables que estudiamos; sino que también controlarlas, alterarlas o manipularlas con el fin de observar los resultados. (*Hernández Sanpieri R., Metodología de la Investigación*)

## Capítulo II

# Antecedentes

## 2.1 Colihue

### 2.1.1 Geografía y cultivo del Colihue en Chile.

En Chile hay al menos 11 especies autóctonas de bambú. Todas pertenecientes al género *Chusquea*. Sin embargo, la mayoría de las personas no saben de la existencia de bambú en el país. Nuestros bambúes son todos sólidos y crecen en climas templados a fríos, desde la zona de Valparaíso (V región) hasta la zona de la Patagonia (XI región), presentándose en formaciones asociadas al bosque nativo o en claros, tanto en la Cordillera de los Andes como en la Cordillera de la Costa y en los valles intermedios. La alta tasa de reposición de los bambúes y su gran biodiversidad y adaptabilidad, hacen de estas especies una atractiva alternativa para impulsar el desarrollo socioeconómico, y disminuir el impacto ambiental. Éstos muestran un gran potencial para detener procesos erosivos, además de ser capaces de crecer en fuertes pendientes y además es de rápida cobertura en terrenos deforestados.

Otro aspecto importante, es la alta tasa de crecimiento de estas especies. Esto ha llevado a que los bambúes sean considerados como un elemento de notable importancia para el balance de oxígeno y dióxido de carbono en la atmósfera.

Estudios de cuantificación realizados en Japón han determinado niveles de captura de carbono atmosférico de 1,75 toneladas por ha/año, tasa que resulta comparable a plantaciones de coníferas de rápido crecimiento en este país.

Existe una amplia tradición de la población principalmente rural, en la utilización de cañas de bambú, reportándose el aprovechamiento de este recurso entre otros en la agricultura, actividad forestal, minería, mueblería, artesanía, ganadería, vivienda y la construcción. Ya que su valor en pie es cercano a cero, principalmente por sus periodos de floración (50 a 60 años aprox.), los que se asocian a fatalidades, debido al aumento de los incendios forestales y crecimiento en la población de roedores.

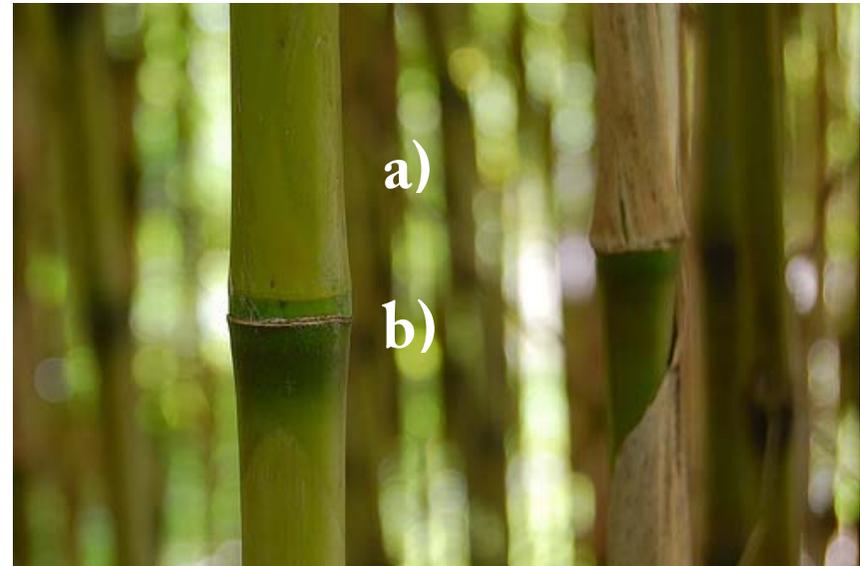
Las dimensiones definitivas de los culmos de bambú (varas) tanto en diámetro como en altura, se presentan al finalizar su primer período de crecimiento, sin embargo, para la mayor parte de los usos potenciales se debe esperar una lignificación de las cañas la cual se logra a edades de 3 o 4 años.

## 2.1.2 Caracterización tecnológica.

### 2.1.2.1 Morfología y Determinaciones Tecnológicas

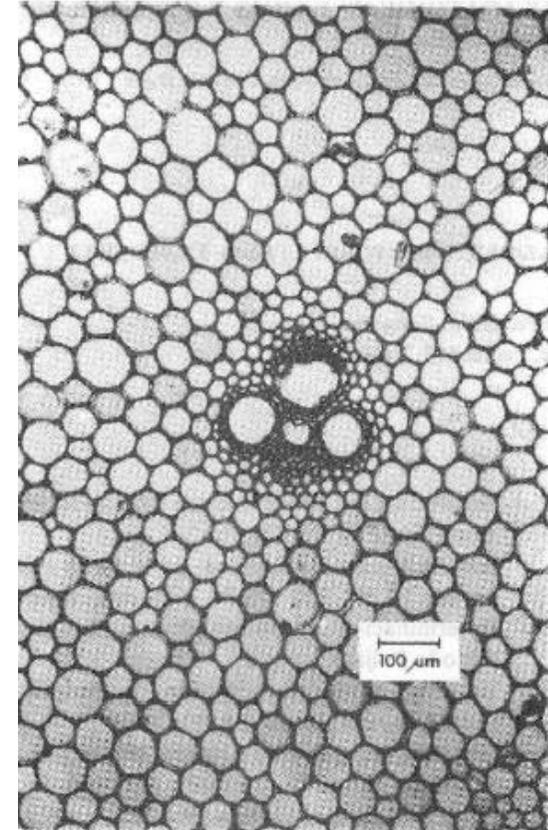
El colihue posee 2 partes fundamentales dentro de su composición morfológica:

- a) Internodo: recorrido normal de la fibra por el culmo.
- b) Nodo: nudos o secciones de encuentro y compresión de los haces vasculares (fibras).



El colihue es una planta vascular, es decir; que posee varios conductores que se ramifican por la raíz, las hojas y el tallo. En la estructura anatómica del colihue (*Chusquea culeou*), podemos apreciar que sus haces vasculares presentan dos vasos de metaxilema (elipses de mayor tamaño en el centro, que vienen a componer el núcleo de la vara) los que están rodeados por fibras y todo el conjunto inserto en tejido parenquimático de paredes delgadas sin dejar intercelulares visibles.

Las fibras presentan paredes gruesas y son probablemente, por la mayor cantidad de ellas en cada haz vascular y la mayor cantidad de estos en los nodos, las que producen la mayor densidad de estas secciones de los culmos (denominación técnica al tallo o vara del colihue).



Estructura microscópica del colihue

### 2.1.2.2 Propiedades químicas

A partir de estudios realizados y que tomamos como antecedente adicional a las propiedades del colihue, se determina las siguientes conclusiones generales.

-Los culmos de colihue presentan porcentajes de solubles en agua fría, solubles en agua caliente, soda al 1%, etanol y etanol tolueno mayores en los nodos comparado con los internodos.

-El contenido de holocelulosa, celulosa y lignina son comparables a los de latifoliadas, lo que le otorga a ambas especies una buena perspectiva para destinarlas a la obtención de celulosa.

-Posee un carácter ácido, esto beneficia la utilización de la especie en la fabricación de tableros, dado que los procesos de encolado con los adhesivos requieren un determinado rango de acidez para su fijación y fraguado óptimo.

<b>Propiedades/solubles</b>	<b>Nodo</b>	<b>Internodo</b>
Agua fría	12,6	13,1
Agua caliente	13,2	14,3
Soda al 1%	32,0	33,5
Etanol	15,5	16,1
Etanol-tolueno	14,6	14,9
Extraíbles totales	16,8	17,8
Holocelulosa	73,1	71,9
Celulosa	51,4	51,5
Lignina	22,3	23,0
Cenizas	1,2	1,3
PH agua fría	3,5	3,7
PH agua caliente	4,5	4,6

*Se somete al colihue a ciertos tratamientos solubles. Resultados*

### 2.1.2.3 Propiedades Mecánicas del culmo

El comportamiento mecánico frente a sollicitaciones mecánicas aplicadas al culmo del colihue, entregan valores referenciales que pueden ser considerados como bajos.

Al comparar con álamo, una de las especies comerciales más débiles que crecen en Chile, presenta valores promedio ligeramente superiores en flexión estática, cizalle y dureza. Sin embargo, la resistencia a compresión paralela a las fibras resulta inferior en colihue. El valor promedio para el módulo de elasticidad indica que es aún más elástica que el álamo.

Propiedad mecánica	Unidad	Colihue	Álamo	Pino insigne
-Flexión estática	Kg/cm <sup>2</sup>	335	298	416
-Tensión en límite de proporcionalidad	Kg/cm <sup>2</sup>	621	519	740
-Módulo de rotura	Kg/cm <sup>2</sup>	70195	75870	93300
-Cizalle	Kg/cm <sup>2</sup>	92	61	100
-Compresión paralela	Kg/cm <sup>2</sup>	272	302	400

La comparación con pino insigne permite observar que, en general, Colihue tiene resistencias similares o inferiores.

El colihue puede ser usado con éxito en: estructuras menores como muebles y tableros enlistonados para obtener superficies planas, además de todo tipo de artesanías.

### 2.1.3 **Procesos Relacionados y Producto Final**

El producto es el culmo de colihue, en el ámbito comercial se denomina caña, vara o tallo de colihue. Los tamaños comerciales fluctúan entre los 25 mm y los 60 mm de diámetro, con largos que se encuentran entre 1 m y 6 m dependiendo del producto.

La edad de cosecha fluctúa entre 3 y 5 años. Se considera a los ejemplares de edades menores como inmaduros, situación que ocasiona un trastorno conocido como "nudo sobresaliente", causado por contracciones de los internodos por pérdidas de humedad.

Las cañas pueden ser clasificadas por largo, diámetro, sanidad, madurez, color, forma, contenido de humedad etc. dando origen a distintos productos. En la actualidad se está trabajando en la creación de una norma de clasificación y comercialización de cañas de colihue. Una vez cosechadas pueden o no ser tratadas, en procesos de lavado, pulido, impregnación, fumigación y otros tratamientos que le den mayor valor y opción de uso al producto.

El producto se vende en estado seco, verde o semi verde. Las cañas verdes destacan por su alta flexibilidad, condición requerida para el proceso de curvado, en la fabricación de muebles. Las cañas secas presentan ventajas tecnológicas, sanitarias y de costos de transporte, existiendo diferencias de humedad que representan hasta un 30% de variación en el peso.

El secado se realiza al aire libre, disponiendo las cañas en forma vertical, tiene una duración de 20 a 25 días.

Para la venta final, por lo general se desarrolla un proceso de limpieza básico, algunos productores antes de empaquetar las cañas, las lavan y escobillan con agua, no se utilizan detergentes ni productos químicos. Para cañas de exportación, se realiza además un pulido artesanal, que consiste en raspar las cañas utilizando cuero a modo de guante y arena como abrasivo. Este proceso consigue suavizar la textura y una coloración uniforme, facilitando además el secado.

Para evitar el ataque de insectos, muchos productores realizan un lavado de las cañas con bencina blanca o lindano. También se utiliza el producto Xylamon, y otros tratamientos curativos con fosforo de aluminio o fosforo de magnesio; o preventivos como Cyfluthrin y Azaconazole.

## **2.1.4 Demanda y Mercados**

El colihue se emplea en una gran variedad de productos que se comercializan en Chile, exportándose una pequeña proporción de ellos. En el mercado doméstico predomina el uso agrícola, en minería y en mueblería artesanal, existiendo varios otros segmentos de mercado especialmente en el extranjero que podrían desarrollarse adecuadamente. Por ejemplo en el rubro construcciones habría una infinidad de usos tales como tableros para recubrimientos interiores, decorativos o aislantes y molduras decorativas. Para combustible, con la consiguiente utilización de los productos derivados del proceso de carbonización principalmente en la industria química y farmacéutica.

### **2.1.4.1 Segmento agrícola**

El uso más masivo del colihue, corresponde a tutores para cultivos hortofrutícolas. Muchas empresas emplean cantidades importantes para entutorar cultivos de kiwi y uva de mesa; así mismo, se emplean como puntales de árboles frutales.

### **2.1.4.2 Muebles y artículos utilitarios**

La manufactura de muebles es el mercado más exigente, restringido para piezas de diámetros mayores y de gran calidad. Las cañas deben, además tener tratamientos adicionales como lavado, secado y en ocasiones también pulido. Aunque este mercado, es uno de los más tradicionales, no resulta muy atractivo para los productores, quienes sostienen que los precios que se pagan son demasiado bajos y las exigencias demasiado altas.

La reducción de costo de la mueblería industrial, que utiliza materiales sintéticos, ha representado una fuerte competencia para los artesanos de la zona central y sur del país que trabajan con mimbre y bambú. Otra fuente de sustitución importante es la importación de este tipo de productos desde Asia a precios competitivos y con buenas redes de distribución en el país.

## 2.1.5 Materiales compuestos

### 2.1.5.1 Definición del concepto

Los materiales compuestos (*composites*) están formados por dos o más materiales de diferente naturaleza que, al combinarse, dan como resultado la mejora de las propiedades que tienen por separado (efecto sinérgico). En general, se habla de dos constituyentes básicos, la matriz y el refuerzo, a los que se le pueden sumar aditivos como componentes minoritarios para mejorar alguna de las propiedades específicas.

### 2.1.5.2 Propiedades

Algunas de las posibilidades constructivas son las siguientes:

- Es posible diseñar compuestos que sean muy fuertes y rígidos, pero de peso muy ligero, lo que les da relaciones resistencia-peso y rigidez-peso varias veces mayores que las del acero o aluminio.
- Sus propiedades de fatiga por lo general son mejores que las de los metales comunes de ingeniería. Asimismo, es frecuente que su tenacidad sea mayor.
- Se puede diseñar compuestos que no se corroan, como el acero por ejemplo.
- Con los materiales compuestos es posible obtener combinaciones de propiedades que no son alcanzables con los cerámicos, metales o polímeros.
- Con ciertos materiales compuestos es posible obtener superficies de mejor apariencia y control de su suavidad.

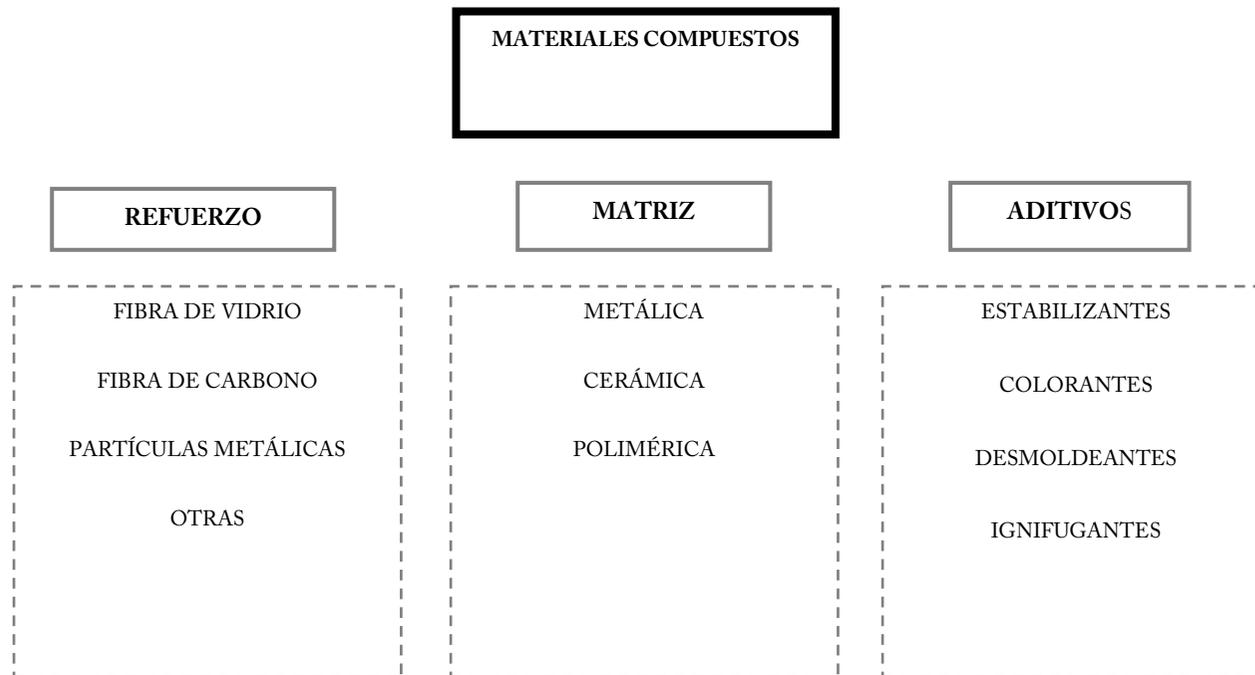
Dentro de las desventajas encontramos:

- Las propiedades de muchos compuestos importantes son anisotrópicos, lo que significa que difieren de acuerdo con la dirección en que se miden.
- Muchos de los compuestos basados en polímeros son susceptibles al ataque químico o de solventes, al igual que los polímeros en sí.
- Por lo general, los materiales compuestos son caros, aunque sus precios disminuyen conforme aumenta el volumen. Alguno de los métodos de manufactura para dar forma a los materiales compuestos son lentos y costosos.

### 2.1.5.3 Tipos

Los materiales compuestos suelen clasificarse en función de la naturaleza de la matriz. Así, se distinguen entre materiales compuestos de matriz metálica, cerámica y polimérica.

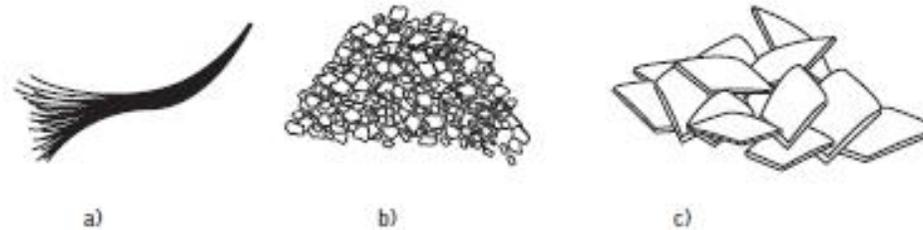
1. Compuestos de matriz metálica (MMC): incluyen mezclas cerámicas y metales, tales como los carburos cementados y otros cermets, así como aluminio o magnesio reforzado por fibras fuertes de alta rigidez.
2. Compuestos de matriz cerámica (CMC): son los de categoría menos común. El óxido de aluminio y el carburo de silicio son los materiales que es posible incrustar con fibra para mejorar sus propiedades, en especial en aplicaciones de temperatura elevada.
3. Compuestos de matriz polimérica (PMC): las resinas termo fijadas son los de polímeros de mayor uso como PMC. Es común mezclar epóxicas y poliéster con fibras de refuerzo.



Constituyentes de los composites.  
Fuentes: *Composite materials. Science and engineering* Krishan, K. (1998), Editorial Springer.  
*Polymer Composites*, Zadorecki y A.J. Mitchell

#### 2.1.5.4 Fase de reforzamiento

Es importante comprender que el papel del reforzamiento es mejorar las propiedades de la matriz. Presentamos a continuación los formatos y disposiciones más comunes en el reforzamiento de matrices.

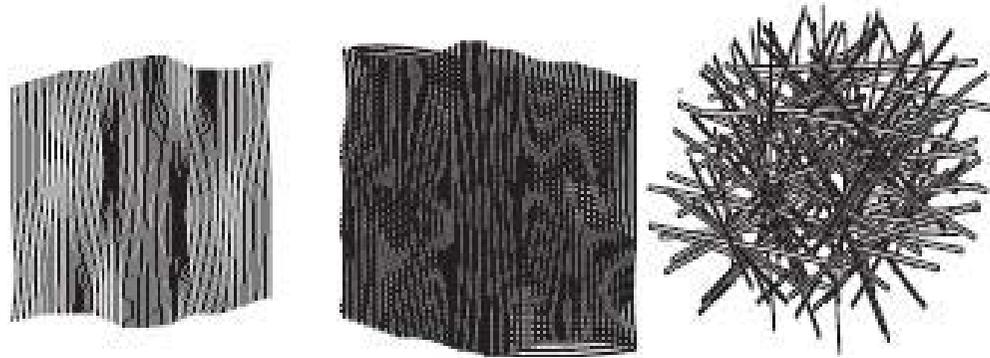


Formas físicas de las posibles incrustaciones en los materiales compuestos:  
a) Fibra b) partícula c) hojuela.

**2.1.5.4.1 Fibras:** las fibras son filamentos de material de refuerzo, por lo general de sección circular. El refuerzo con fibras proporciona mayor oportunidad para mejorar la resistencia de las estructuras compuestas. En compuestos con fibra reforzada es frecuente que ésta se considere el constituyente principal, puesto que soporta la mayor parte de la carga. Las fibras son de interés como agente de refuerzo porque la mayor parte de los materiales es más fuerte en forma de filamento que en otra forma voluminosa.

Las fibras que se utilizan en los materiales compuestos son continuas o discontinuas. Las *fibras continuas* son muy largas; en teoría, ofrecen una trayectoria continua de modo que una carga se ve soportada por la parte compuesta. Pero en realidad es difícil de lograr, debido a las variaciones del material fibroso y su procesamiento. Las *fibras discontinuas*, secciones cortadas de fibras continuas, son de longitud corta.

La orientación de las fibras es otro factor en las piezas compuestas. Se distinguen 3 casos:



a) Fibras continuas.      b) Fibras en forma de tejido      c) Fibras discontinuas

a) Fibras continuas, unidimensionales: se representa el esfuerzo unidimensional, en el que la resistencia y rigidez máximas se obtienen en dirección a la fibra.

b) Fibras continuas, planas, en forma de tejido: se muestra el refuerzo plano, que en ciertos casos es en forma de tejido bidimensional.

c) Fibras discontinuas, al azar: se muestra una orientación al azar o tridimensional, en la que el material compuesto tiene a poseer propiedades isotrópicas (posee las mismas propiedades físicas en todas las direcciones).

2.1.5.4.2 **Partículas:** las partículas son un material importante para los metales y cerámicos. Su tamaño varía en macroscópico y microscópico. La distribución de las partículas en la matriz del compuesto es al azar, y por ello la resistencia y otras propiedades del material por lo general son isotrópicas. La resistencia de la matriz depende del tamaño de la partícula. Mientras mayor es la partícula, mayor será su resistencia.

2.1.5.4.3 **Hojuelas:** son básicamente partículas bidimensionales, plaquetas planas y pequeñas. Principalmente se usan para el reforzamiento de plásticos.

### 2.1.5.5 Referentes de Reforzamientos

El principal referente de materiales de refuerzo para nuestra investigación, (ya que es el más conocido y al alcance en nuestro contexto) es la fibra de vidrio. La fibra de vidrio es el agente reforzante más utilizado por su balance de propiedades y versatilidad de procesamiento. Sin embargo, en algunas aplicaciones la tecnología moderna requiere materiales que combinen flexibilidad, buenas propiedades mecánicas, que sean ligeras y de ser posible biodegradables y sustentables.

La fibra de vidrio es el refuerzo más utilizado en la fabricación de materiales compuestos de matriz polimérica. Esto es posible gracias a sus buenas características:

- Excelente adherencia fibra-matriz.
- Resistencia mecánica específica (resistencia a tracción/densidad) superior a la del acero en la dirección de la fibra
- Buenas propiedades dieléctricas
- Incombustibilidad
- Estabilidad dimensional
- débil conductividad térmica
- buena resistencia a los agentes químicos
- fácil procesamiento

Tipo	Ventajas	Desventajas	Aplicaciones
Fibra de vidrio	Buena relación peso/ prestaciones mecánicas Facilidad de aplicación.	Elevadas prestaciones mecánicas específicas	Automoción Construcción Aeronáutica
Fibra de carbono	Excelente resistencia a la rotura en tracción y compresión. Buena resistencia a la humedad.	Precio elevado. Escasa resistencia al choque.	Aeronáutica Automoción Biomecánica Deporte
Aramida	Buen comportamiento al choque. Buena resistencia a la humedad.	Baja resistencia a la compresión	Automoción Construcción.
Boro	Elasticidad elevada Buen comportamiento al choque	Dificultad de utilización	Aeronáutica militar

*Comparación entre los diferentes tipos de fibras de refuerzo.*

#### **2.1.5.6 Tipología de polímero para materiales compuestos**

A partir de nuestra problemática y problema de investigación; definimos que la matriz para materiales compuestos que usaremos será de origen polimérico. De acuerdo a los recursos disponibles, tanto de accesibilidad como monetarios, escogemos la resina poliéster para realizar nuestra investigación.

Los poliésteres representan una familia de resinas líquidas y transparentes. Son polímeros no saturados disueltos en monómeros reactivos capaces de hacer co-polimerizaciones entrecruzadas para formar una masa sólida termo fija. La transición de líquido a sólido es lenta y controlable, lo que hace a este tipo de resinas fáciles de manejar y de una gran versatilidad para la fabricación de una amplia variedad de productos que requieran poco peso y una gran resistencia mecánica.

#### **2.1.5.7 Refuerzos de origen celulósico.**

En la industria de la construcción ha empezado a utilizarse materiales compuestos de harina de madera con Polipropileno (PP), Polietileno (PE) o Cloruro de polivinilo (PVC) y resinas termoestables. Estos compuestos, conocidos como Wood-Plastic Composites (WPC), han experimentado en el exterior importantes avances, tanto en sus propiedades y procesamiento como en aceptación por el consumidor.

Los refuerzos de origen celulósico tienen las siguientes ventajas sobre otros materiales de refuerzo: baja densidad, biodegradabilidad, flexibilidad durante el procesamiento así como un menor precio.

Para mejorar las propiedades mecánicas de los materiales compuestos reforzados con elementos de origen celulósico, es necesario mejorar la compatibilidad entre él y la matriz. Esto puede ser logrado mediante tratamientos químicos (injertos de otros polímeros sobre el material, recubrimientos aislantes, etc.)

##### **2.1.5.7.1 Estado del arte: Refuerzos de origen celulósico.**

A lo largo de nuestra investigación hemos logrado recopilar información respecto a otros materiales cuyas características permiten la elaboración de materiales compuestos. Estos materiales compuestos establecen un sistema construido por dos o más materiales individuales, denominados fases. Éstas fases individualmente cuentan con propiedades físicas y mecánicas independientes, pero que al trabajar juntas se acoplan complementándose a fin de lograr obtener un producto optimizado.

Elegimos la utilización de un compuesto de matriz polimérica ("PMC" por sus siglas en inglés *Polymer-Matrix Composites*) en base a los desarrollos recopilados por otras experiencias de este tipo en donde se han utilizado fibras ricas en lignina/celulosa proveniente de plantas como yute, sisal, coco, madera, piña, entre otros. La aplicación industrial de estos materiales compuestos como alternativa a las fibras sintéticas en matrices poliméricas se ha realizado con éxito en productos de la industria automotriz donde estos materiales han reemplazado componentes interiores como paneles o rellenos tapices de asientos que anteriormente utilizaban fibra de vidrio o espumas poliméricas(2).

Además de las aplicaciones automotrices existen estudios especializados en la utilización de este tipo de compuestos en donde las fibras naturales actúan como refuerzo de termoplásticos ("NFRTP" en su sigla inglesa para *Natural Fiber Reinforced Thermoplastics*) lo cual permite la utilización de estos materiales en moldes de inyección y soplado, proceso conocido como Direct Long Fiber Injection (D-LFT), con los beneficios que estos procesos otorgan. Este último proceso permite la generación de matrices híbridas, en donde la utilización de fibras naturales es complementada con la inclusión de fibras de vidrio.

Contamos también con antecedentes de la utilización de éstos compuestos como material de relleno para muros ya que sus propiedades permiten la aislación a vibraciones, además de la reducción de peso y costo de los materiales.

A continuación presentamos algunos ejemplos que nos sirven como referente para el desarrollo de la investigación, y para conocer el estado de la técnica de este nuevo material.

2.1.5.7.1.1 **-Abacá:** También llamado "cáñamo de Manila", el abacá se produce a partir de la vaina de las hojas que rodean el tronco del abacá, pariente cercano del banano y originario de las Filipinas. Uno de los usos tradicionales de la fibra de abacá, cuya longitud promedio es de tres metros y tiene una gran resistencia a la tracción, fue la fabricación de cordelería, sobre todo para sogas para buques. La cosecha de abacá requiere una gran intensidad de mano de obra. Cada tallo se tiene que cortar en tiras, que después de raspan (por lo común manualmente) para eliminar la pulpa. Las largas fibras blancas después se lavan y secan, y se empacan para transportarlas. Para la industria automotriz, con la fibra de alta calidad se produce hilo, el cual se devana y se exporta.

Recientemente unos investigadores patentaron una mezcla novedosa de polipropileno termoplástico e hilo de abacá para partes de automóviles, incluidos los tableros exteriores.

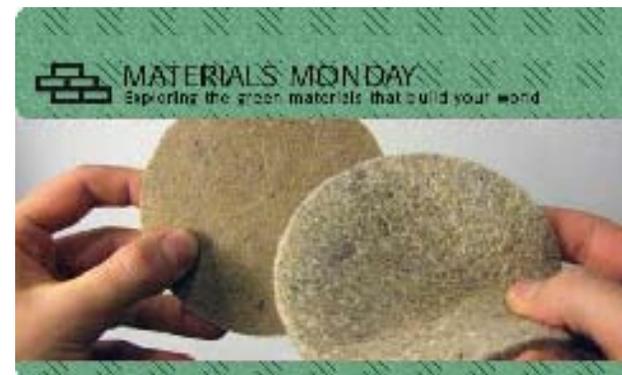
2.1.5.7.1.2 **-Lino, sisal, cáñamo:** En la experimentación tomada como referencia se analizan, principalmente, fibras procedentes de residuos textiles de algodón y lino, y fabricación de cuerdas como sisal o cáñamo; utilizadas en forma de pellet. Las propiedades mecánicas de las fibras resultaron bastante diversas y dependían mucho de las condiciones en las que se encontraba la fibra, principalmente en cuanto a su grado de humedad. Las fibras presentaron diferentes composiciones y propiedades físicas que influyeron en la compatibilidad con las matrices poliméricas y por tanto en las propiedades finales del composite.

Se concluyó que el aprovechamiento de fibras vegetales de desecho es perfectamente viable, previamente peletizada y tratada.

2.1.5.7.1.3 **-Palma:** Se usaron como agente de refuerzo fibras de palma (yuca carnerosa). Los materiales compuestos obtenidos se compararon con UPR sin reforzar y reforzada con fibra de vidrio. Se encontró que los materiales compuestos reforzados con las fibras celulósicas mostraron una resistencia al impacto similar al obtenido cuando se usa como refuerzo fibra de vidrio. Concluyendo que el uso de fibras de este tipo aporta a la biodegradabilidad y reciclabilidad de los composites.

2.1.5.7.1.4 **-Bambú:** Utilizado en composites de tipo polimérico (resina poliéster). Se descubrió que sus posibilidades se ven potenciadas aún más cuando se los utiliza bajo una configuración tipo sándwich, en donde son capaces de resolver muchos de los problemas de aislamiento térmico o acústico.

2.1.5.7.1.5 **-Mat Flex-form:** 50% fibra natural 50% fibra sintética, se utiliza una trama de fibras encoladas como alfombra para superficies mayores, asientos o superficies de trabajo.



2.1.5.7.1.6 **-Industria automotriz:** a través de la búsqueda de referentes, hemos podido observar que los pioneros en el uso de bio-composites son las industrias automotrices. Marcas como Mitsubishi y Mercedez Benz experimentan y aplican este nuevo material a sus productos de perfil ecológico y sustentable.



Componentes desarrollados con materiales compuestos de matrices poliméricas y fibras naturales en la industria automotriz.

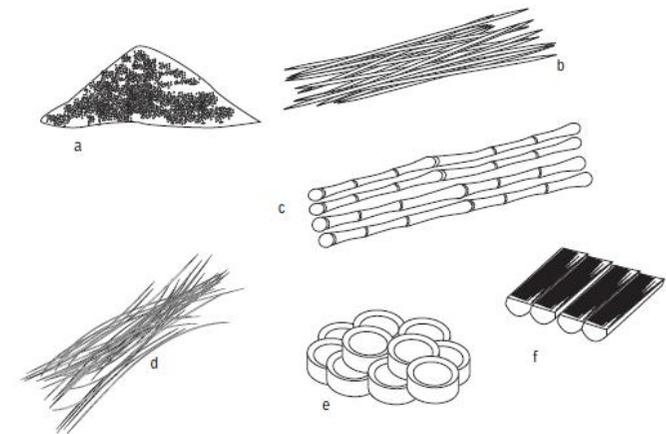
### Capítulo III

## Desarrollo Metodología Experimental

Nuestro principal objetivo es comprobar la factibilidad del uso del Colihue como bio-refuerzo en materiales compuestos del tipo polimérico, específicamente resina poliéster. Nuestros objetivos específicos de la investigación consisten en establecer las propiedades físicas y mecánicas mediante la realización de probetas con diferentes configuraciones del material. Determinar cuáles son las cualidades, tanto virtudes como defectos de la utilización del colihue como refuerzo estructural, mediante los resultados obtenidos a través de las probetas de experimentación. Determinar mediante el uso de diversos formatos del Colihue, el valor estético de la aplicación de éstos en la fabricación de composites de origen polimérico.

### 3.1 Experimentación

El programa consiste en la construcción de probetas con distintos formatos de la vara del colihue (secciones circulares, elípticas, longitudinales, fibra, cáscaras) y con ubicaciones diferentes (aleatorias, paralelas, entramado, etc.) inmersos en resina poliéster. Definimos dos etapas de probetas, la primera en un formato de placa, y la segunda en formato listón.



Formatos de colihue a utilizar en las probetas a) serrín b) brochetas, c) huinchas, d) varas, e) secciones transversales f) secciones longitudinales.

### 3.1.1 Formato placa.

Dentro de esta primera etapa de experimentación, definimos dos etapas de probetas, la primera realizada en moldes de cartón enmascarado y con un periodo de gelado tardío, y la segunda; realizada en cajas de hojalata y con un periodo de gelado relativamente apropiado

1. Adquisición de materias primas y materiales: varas de colihue de 1 mt., resina poliéster, catalizador, acelerante, desmoldantes, cartón corrugado, hojalata, cinta de embalaje, cinta adhesiva de aluminio.
2. Definición del formato de las probetas: formato media carta (21.59 x 13.97 x 2cms)
3. Elección del material de las cajas: para la primera etapa de pruebas utilizamos cartón corrugado enmascarado con cinta de embalaje. Para la segunda etapa utilizamos láminas de hojalata de 2 mm de espesor y cinta autoadhesiva de aluminio.
4. -Encuadre, corte, armado de las cajas.  
-Preparar colihue en formatos determinados anteriormente (secciones circulares, elípticas, longitudinales, fibra, cáscaras)
5. Aplicación de desmoldante: para la primera etapa de experimentación utilizamos lava lozas. Para la segunda etapa utilizamos desmoldante PVA. Aplicamos el desmoldante directamente a la superficie, para después esparcirlo con un papel absorbente suave (pañuelos desechables).
6. Preparación de la resina: en la primera etapa, preparamos la resina en una proporción equivocada de catalizador + acelerante, y acompañado de un lugar inapropiado térmicamente, geló completamente después de aproximadamente 10 días.
7. Tanto en la primera como segunda etapa, verter resina en los moldes: en ambas etapas vertimos primero una capa delgada de resina con el fin de sujetar los formatos de colihue.
8. Colocar los formatos de colihue sobre la "cama" de resina y en diversas orientaciones.
9. Verter una segunda capa para cubrir los formatos de colihue. Aproximadamente son 250 grs. de resina por probeta.
10. Tiempo de gelado: en ambas etapas, se presentaron problemas de gelado. En la primera etapa de debió principalmente a una proporción equivocada de catalizador y acelerante (otorgadas por el fabricante), y acompañado de un lugar inapropiado térmicamente, geló completamente después de aproximadamente 20 días. En la segunda etapa, si bien se preparó con una proporción adecuada de catalizador y acelerante, el ambiente en el que se dejó gelando no fue el apropiado. Geló completamente en 7 días. El peso del refuerzo influye considerablemente o no en el tiempo de gelado de la resina.
11. Sacar las probetas de los moldes.
12. Someter a prueba las propiedades mecánicas de las probetas: si bien aun no realizamos pruebas reales y de colapso de material; con pruebas de esfuerzo leves podemos comprobar que los formatos que más posibilidades tienen de ser estructuralmente factibles como refuerzo en materiales compuestos del tipo polimérico son los siguientes: *fibra en entramado, fibras en disposición aleatoria y cascaras en disposición aleatoria.*
13. Si bien descartamos las demás probetas por su carácter estructural, podemos rescatar el valor estético de cada una de ellas.

# MOLDES

**Formato**

Media carta 217\*140 mm.

**Sellado interno-externo**

Cinta de embalaje-cinta de aluminio

**Materialidad**

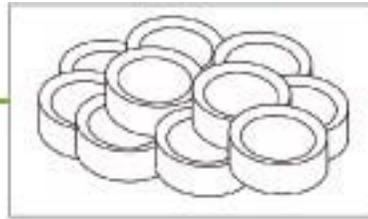
Cartón corrugado -hojalata.

**Desmoldantes**

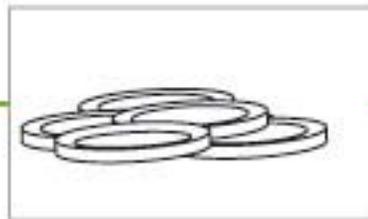
Lava lozas

Desmoldante PVA



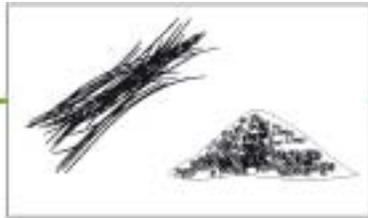


**Etapa 1.**  
Molde de cartón  
Desmoldante lava lozas  
Sección circular  
Ubicación aleatoria



**Etapa 1.**  
Molde de cartón  
Desmoldante lava lozas  
Sección elíptica en 60°  
Ubicación aleatoria





**Etapa 1.**  
Molde de cartón  
Desmoldante lava lozas  
Fragmentos de fibra + brocheta  
Ubicación aleatoria

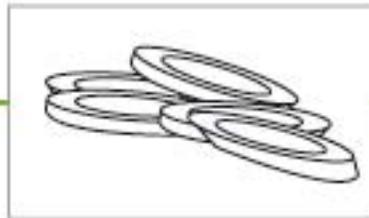


**Etapa 1.**  
Molde de cartón  
Desmoldante lava lozas  
Fibras largas  
Entramado





**Etapa 2.**  
Molde de hojalata  
Desmoldante PVA  
Sección Longitudinal  
Ubicación contigua



**Etapa 2.**  
Molde de hojalata  
Desmoldante PVA  
Sección elíptica en 45°  
Ubicación aleatoria





**Etapa 2.**  
Molde de hojalata  
Desmoldante PVA  
Sección circular  
Ubicación aleatoria



**Etapa 2.**  
Molde de hojalata  
Desmoldante PVA  
Cáscaras  
Ubicación aleatoria



### 3.1.2 Formato listón.

A partir de la discriminación realizada mediante las pruebas estructurales de los formatos placa, seleccionamos para esta segunda etapa de experimentación los formatos en *colihue de cáscara* y de *fibra en disposición de trama*. Escogemos como materialidad para el molde una lámina de hojalata, ya que es la que nos brindó mejores resultados; tanto en terminación como impermeabilidad.

1. Adquirir de materias primas y materiales: varas de colihue de 1 mt., resina poliéster, catalizador, acelerante, desmoldante, hojalata y cinta adhesiva de aluminio.
2. Definir el formato de las probetas: formato listón cuadrado (1`` x 1`` x 15 cms.)
3. Elegir del material para el molde: según la experiencia anterior, determinamos como apropiado y más efectivo utilizar hojalata para la construcción de los moldes.
  - Cubicación de la lámina de hojalata
  - Corte y plegado de la lámina, según el formato determinado anteriormente.
  - Sellado del fondo y lados del molde con cinta adhesiva de aluminio.
  - Preparar colihue en formatos determinados anteriormente (cáscaras, fibras)
4. Aplicar de desmoldante: se vierte el desmoldante PVA dentro del formato hasta rebalsar. Después vaciar el desmoldante en su envase original y dejar escurrir los excedentes poniendo el molde boca abajo.
5. Preparación de la resina en un recipiente.
6. Inmersión de los formatos de colihue en la resina.
7. Vaciar de la resina con el colihue en el molde de hojalata.
8. Espera: tiempo aproximado de gelado 1 día.
9. Sacar las probetas de los moldes.
10. Limpiar los listones de resina y colihue de los excedentes de desmoldante.
11. Someter a prueba las propiedades mecánicas de las probetas: según los recursos disponibles, sometemos a pruebas de compresión a los 2 formatos construidos.

Proceso de construcción de molde en formato listón.





Prueba de compresión 1



Prueba de compresión 2

### 3.2 Conclusiones de la experimentación

El desarrollo de la experimentación arrojó datos respecto a la preparación del material para lograr un proceso de gelado apropiado. Principalmente, las piezas trabajadas que serán utilizadas como carga han de estar previamente secas, para ello se sugiere la utilización de hornos u otros métodos de secado, a fin de obtener trozos con una baja humedad, asegurando la estabilidad de las reacciones de la matriz.

Así mismo, los datos recabados luego de las pruebas de esfuerzos, en una pequeña escala, nos permiten determinar la relación entre el tamaño, orientación y tipo de formato de la carga y sus propiedades de resistencia ante esfuerzos de torsión, flexión y compresión, señalando que a menor tamaño de la carga dentro de la matriz, mejor repartimiento de los esfuerzos internos pues se logra una distribución más efectiva de los esfuerzos..

Las pruebas no tan sólo arrojaron datos respecto a la resistencia ante los esfuerzos a los cuales las piezas pueden ser sometidas, sino, además evaluaciones estéticas dentro de las variedades. Los diversos formatos de las probetas nos señalan que si bien la densidad de la utilización del colihue en las matrices mejora ciertas propiedades de resistencia a diferentes esfuerzos, la integridad del tamaño de la carga aporta en una gran medida la estética final del material. Al utilizar una base polimérica transparente, la carga queda expuesta visualmente y así, la relación de colores, texturas y comportamiento de la carga con la luz son factores determinantes en la apreciación y posibles usos del material

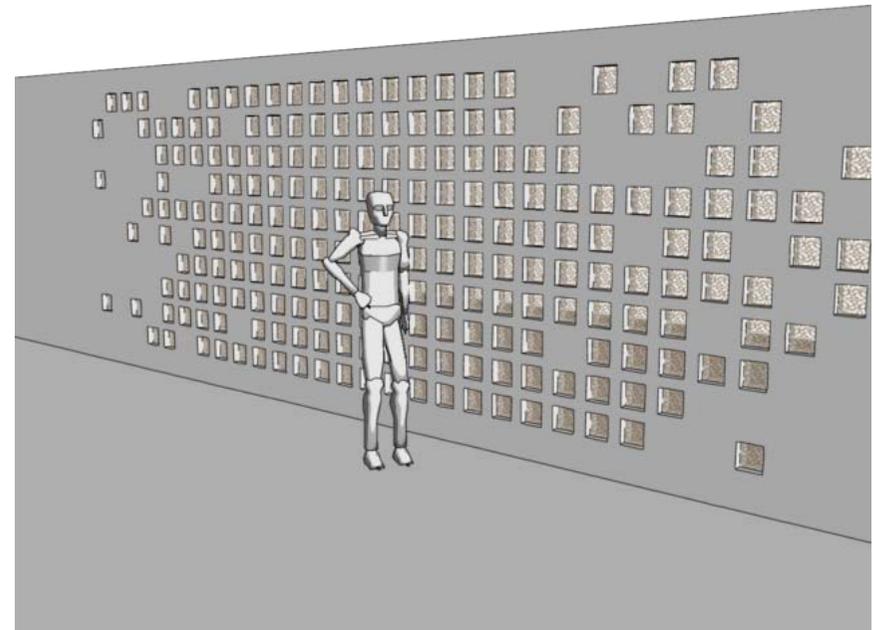
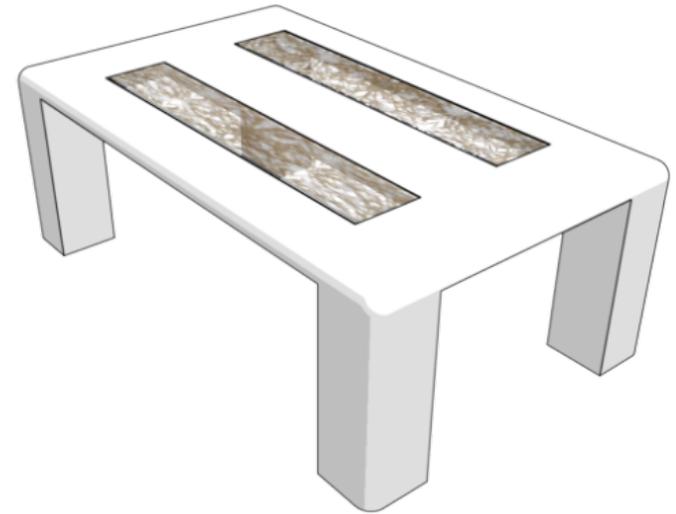


## Capítulo IV

# Aplicación del material

### 4.1 Aplicaciones

Dadas las cualidades del material, sus mejores aplicaciones de uso son las referentes a su apariencia y gracias al refuerzo estructural que otorga la carga al interior de la resina existe una amplia gama de utilidades, entre ellas revestimientos, terminaciones, artesanía, aprovechando sus cualidades de translucidez y transparencia las cuales son graduables dependiendo de la cantidad de carga este material puede ser utilizado como muro traslucido, tal como los bloques de vidrio existentes en el mercado.



# Conclusiones

La diversidad de materias primas con las cuales cuenta nuestro país nos brinda la enorme oportunidad de lograr un nivel de total desarrollo, sin embargo, como nación debemos ser lo suficientemente sabios como para enfocar nuestros esfuerzos en el desarrollo de nuevas y mejores tecnologías. Así hemos desarrollado esta investigación con el objetivo de probar y comprobar las cualidades del colihue, cuyos resultados nos plantean nuevas formas de tratamiento y elaboración para piezas de mediana y baja complejidad. Este mismo nivel de complejidad resulta una ventaja como material para las pequeñas y medianas empresas.

Aunque comenzamos esta investigación recopilando información respecto a las cualidades estructurales del colihue como carga en matices poliméricos, hemos descubierto que sus mejores características son en sus aspectos cualitativos, generando un material que otorga la posibilidad de lograr terminaciones y pulidos además de interesantes juegos con la iluminación disponible lo cual abre un campo de explotación más para esta variedad de bambusácea, de la cual Chile presenta grandes características para su cultivo a mediana escala.

# Bibliografía

- Kahler Carlos, Campos Jorge, ***Bambú en Chile.***
- Maiti M. R. ***Fibras Vegetales en el Mundo: Aspectos Botánicos, Calidad y Utilidad***
- Salvador, V. Amigó, A. Nuez, O. Sahuquillo, R. Llorens, F. Martí, ***Caracterización de fibras vegetales utilizadas como refuerzo en matrices termoplásticas***, Universidad Politécnica de Valencia, España.
- C.F. Jasso, y O. Laguna-Castellanos, ***Polymeric Materials Encyclopedia.***
- Krishan, K, ***Composite materials. Science and engineering***, 1998, Editorial Springer.
- Zadorecki y A.J. Mitchell, ***Polymer Composites***, 1989.
- Juárez Alvarado Césa, Rodríguez López Patricia, Rivera Villarreal Raymundo, Rechy de Von Roth Ma. De los Ángeles, ***Uso de fibras naturales de lechuguilla como refuerzo en concreto***, México 2004, Departamento de Tecnología de la Madera, FCF-UANL.
- Groover Mikel, ***Fundamentos de Manufactura Moderna: materiales, procesos y sistemas***
- Miravete Antonio, Chiminelli Agustín, ***Una nueva fibra de características ideales para su uso en la construcción***, España, Departamento de Ingeniería Mecánica Universidad de Zaragoza.
- Mata Cabrera Francisco, ***Utilización de composites de matriz polimérica en la fabricación de automóviles***, Madrid 2004, Revista Técnica Industrial, nº 247.

- Jasso C.F, Hernández H, San-Juan R, González Ortiz Javier, Mendizábal E, **Fibras celulósicas como agentes de refuerzo para resinas poliéster entrecruzadas con estireno o acrilato de butilo**, México, Universidad de Guadalajara.

-Salvador M.D, Amigó V, Nuez A, Sahuquillo O, Llorens R, Martí F, **Caracterización de fibras vegetales utilizadas como refuerzo en matrices termoplásticos**, España, Universidad Politécnica de Valencia.

#### Web

-Bambú en Chile [www.bambu.cl](http://www.bambu.cl)

-**Natural Fiber Composites Slowly Take Root** <http://www.compositesworld.com/articles/natural-fiber-composites-slowly-take-root.aspx>

- **Polymer Matrix Composite (Pmc) Infill Walls For Seismic Retrofit** [http://mceer.buffalo.edu/publications/resaccomm/01-sp02/sra\\_ind/21.pdf](http://mceer.buffalo.edu/publications/resaccomm/01-sp02/sra_ind/21.pdf)

- **Karelina** [www.karelina.fi/binary/file/-/fid/78](http://www.karelina.fi/binary/file/-/fid/78)

- **Natural-Fiber Polymer-Matrix Composites: Cheaper, Tougher, and Environmentally Friendly**

<http://www.springerlink.com/content/u5232314r28m162v/fulltext.pdf>

- **Las Fibras Naturales En Los Materiales Compuestos**

[http://www.plastico.com/tp/secciones/TP/ES/MAIN/IN/ARCHIVO/ARTICULOS/doc\\_57872\\_HTML.html?idDocumento=57872](http://www.plastico.com/tp/secciones/TP/ES/MAIN/IN/ARCHIVO/ARTICULOS/doc_57872_HTML.html?idDocumento=57872)

- **referentes composites** [www.compositesworld.com](http://www.compositesworld.com)

- **Composite technology transfer** [www.fao.org](http://www.fao.org)

