



**ANÁLISIS COMPARATIVO DEL POTENCIAL DE TABLE-  
ROS DERIVADOS DE LA MADERA EN TORNO AL IM-  
PACTO MEDIOAMBIENTAL DE LA CONSTRUCCIÓN.  
QUITO, 2022.**

Diego Silva Quimbaila



Universidad  
Indoamérica

Silva, D. (2023).

“Análisis comparativo del impacto potencial de tableros derivados de la madera en torno al impacto medioambiental.” Quito - 2022

Universidad Indoamérica - Quito





Universidad  
Indoamérica

FACULTAD DE ARQUITECTURA Y CONSTRUCCIÓN  
CARRERA DE ARQUITECTURA

**“Análisis comparativo del impacto potencial de tableros derivados de la madera en torno al impacto medioambiental.”  
QUITO, 2022.**

Trabajo de investigación previo a la obtención del título de  
Arquitecto

Autor(a)

Silva Quimbaila Diego Santiago

Tutor(a)

Raúl Marcelo Villacís Ormaza, M. Arch.

QUITO - ECUADOR  
2023



## **AUTORIZACIÓN POR PARTE DEL AUTOR PARA LA CONSULTA, REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL, PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA DEL TRABAJO DE TÍTULACIÓN**

Yo, SILVA QUIMBAILA DIEGO SANTIAGO, declaro ser autor del Trabajo de Titulación con el nombre “Análisis comparativo del impacto potencial de tableros derivados de la madera en torno al impacto medioambiental.”, QUITO, 2022., como requisito para optar al grado de Arquitecto y autorico al sistema de Biblioteca de la Universidad Tecnológica Indoamerica, para que con fines netamente académicos divulgue esta obra a través del Repositorio Digital institucional (RDI-UTI).

Los usuarios del RDI-UTI podrán consultar el contenido de este trabajo en las redes de información del país y del exterior, con las cuales la Universidad tenga convenios. La Universidad Tecnológica Indoamérica no se hace responsable por el plagio o copia del contenido parcial o total de este trabajo.

Del mismo modo, acepto que los Derechos de Autor, Morales y Patrimoniales, sobre esta obra, serán compartidos entre mi persona y la Universidad Tecnológica Indoamérica, y que no tramitaré la publicación de esta obra en ningún otro medio, sin autorización expresa de la misma. En caso de que exista el potencial de generación de beneficios económicos o patentes, producto de este trabajo, acepto que se deba firmar convenios especificos adicionales, donde se acuerden los términos de adjudicación de dichos beneficios.

Para constancia de esta autorización en la ciudad de Quito, a los 06 días del mes de marzo de 2023, firmo conforme:



.....  
SILVA QUIMBAILA DIEGO SANTIAGO

C.I. 1719122465

Dirección: Conocoto, Abdón Calderon N1-46

Correo: dsilva4@indoamerica.edu.ec



## DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Quien suscribe, declaro que los contenidos y los resultados obtenidos en el presente trabajo de investigación, como requerimiento previo para la obtención del Título de Arquitecto, son absolutamente originales, auténticos y personales y de exclusiva responsabilidad legal y académica del autor.

Quito, 06 de marzo de 2023



.....  
SILVA QUIMBAILA DIEGO SANTIAGO  
C.I. 1719122465

## APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de Tutor del Trabajo de Integración Curricular “Análisis comparativo del impacto potencial de tableros derivados de la madera en torno al impacto medioambiental.”, QUITO, 2022.” presentado por SILVA QUIMBAILA DIEGO SANTIAGO para optar por el título de Arquitecto., CERTIFICO Que dicho trabajo de investigación ha sido revisado en todas sus partes y considero que reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación pública y evaluación por parte del Tribunal Examinador que se designe.

Quito, 06 de marzo de 2023

.....  
RAUL MARCELO VILLACIS ORMAZA, M. Arch.  
C.I. 1312200106





## **APROBACIÓN TRIBUNAL**

El trabajo de Titulación, ha sido revisado, aprobado y autorizada su impresión y empastado sobre el Tema: “Análisis comparativo del impacto potencial de tableros derivados de la madera en torno al impacto medioambiental.”, QUITO, 2022., previo a la obtención del Título de Arquitecto, reúne los requisitos de fondo y forma para que el estudiante pueda presentarse a la sustentación del trabajo de integración curricular.

Quito, 06 de marzo de 2023

.....  
ARQ. JOSÉ RAMÓN LEYVA GUZMÁN  
C.I. 1756756902

.....  
ING. JORGE PONCE TAMAYO  
C.I. 1757008436



## DEDICATORIA

El presente trabajo investigativo lo dedico principalmente a Dios, por ser el inspirador y darnos fuerza para continuar en este proceso de obtener uno de los anhelos más deseados, a mi hermano Javier Silva (+), a mis hijos Hallie Silva , Amelia Silva y Guille, por el amor que me dieron aún en mi ausencia, por ser mi inspiración, mi fortaleza y mi motivación en las largas noches de desvelo.

Y, finalmente, a los que no creyeron en mí, con su actitud lograron que tomará más impulso.

## AGRADECIMIENTO

Al finalizar este trabajo quiero utilizar este espacio para agradecer a Dios por todas sus bendiciones, Gracias a mi familia: Francisco, Elena, Teresita, Fer y Javi, por ser los principales promotores de mi sueño, por confiar y creer en nuestras expectativas, por los consejos, valores y principios que nos han inculcado.

A mi esposa Rosita Proaño por su apoyo y paciencia incondicional en este proyecto de estudio.

También quiero agradecer a la Universidad Indoamérica, directivos y profesores por la organización de la carrera de arquitectura, un agradecimiento especial a mi tutor Arq. Marcelo Villacís por la paciencia y los conocimientos adquiridos en las aulas de clase.



## RESUMEN EJECUTIVO

La industria de la construcción seguirá teniendo un impacto negativo en el medio ambiente si se sigue utilizando los sistemas constructivos tradicionales.

Este estudio busca analizar el impacto potencial de los diferentes tipos de tableros derivados de la madera en función a su tipo y uso en el contexto de la construcción. Se expone un análisis comparativo de las propiedades contaminantes, operativas, funcionales, mecánicas, económicas y estéticas de los sistemas constructivos en tableros derivados de la madera con el fin de establecer resultados en torno al impacto ambiental. La metodología utilizada en esta investigación es de carácter cuantitativo y está basado en 5 variables, las cuales son; huella de carbono, huella hídrica, costos, eficiencia estructural y el confort, es decir, para calcular la huella de carbono se utilizará un software simulador de emisiones, para la huella hídrica se empleará el método de enfoque por peso del material, para los costos se utilizará un presupuesto y un análisis de precio unitario, para hallar la eficiencia estructural se utilizarán ecuaciones de deformación aplicados a tableros derivados de madera y finalmente para calcular el confort, se realizará una encuesta de aceptación del material a una parte de la población.

Los resultados de esta investigación demuestran que los tableros derivados de la madera poseen características superiores en cada una de las variables que se han ensayado, como por ejemplo, las emisiones de carbono, de agua y el costo son mínimas frente a los sistemas constructivos tradicionales. Con los datos anteriormente recopilados, se concluye que es factible construir con tableros derivados de la madera, las emisiones de carbono se reducen en un 75%, además, el recurso hídrico utilizado es mínimo sabiendo que este es limitado y es un sistema económicamente accesible, ya que sus costos tanto de material como mano de obra no son elevados. Se recomienda concienciar a la población ecuatoriana acerca del impacto ambiental, consumo hídrico, emisiones de gases de efecto invernadero e impulsar la construcción de sistemas constructivos con tableros derivados de la madera.

DESCRIPTORES: Análisis comparativo, impacto medioambiental, construcción con madera.



## ABSTRACT

The construction industry will continue to have a negative impact on the environment if traditional construction systems continue to be used. This study seeks to analyze the potential impact of the different types of boards derived from wood based on their type and use in the construction context.

A comparative analysis of the polluting, operational, functional, mechanical, economic and aesthetic properties of the construction systems in boards derived from wood is exposed in order to establish results regarding the environmental impact. The methodology used in this research is quantitative and is based on 5 variables, which are; carbon footprint, water footprint, costs, structural efficiency and comfort, that is, to calculate, an emissions simulator software will be used, for the water footprint, the method of approach by weight of the material will be used, for the costs a budget and a unit price analysis will be used, to find the structural efficiency, deformation equations applied to wood-derived boards will be used and finally to calculate the comfort, a material acceptance survey will be carried out to a part of the population. The results of this research show that boards derived from wood have superior characteristics in each of the variables that have been tested, for example, carbon emissions, water emissions and cost are minimal compared to traditional construction systems.

With the data previously collected, it is concluded that it is feasible to build with wood-derived panels, carbon emissions are reduced by 75%, in addition, the water resource used is minimal knowing that this is limited and it is an economically accessible system, since its material and labor costs are not high. It is recommended that the Ecuadorian population be made aware of the environmental impact, water consumption and greenhouse gas emissions, and that the construction of building systems using wood-based panels be encouraged.

**KEYWORDS:** Analysis comparative, environmental impact, construction with wood.





# ÍNDICE CONTENIDOS

<b>1. ETAPA 1 • Conocimiento Previo.....</b>	<b>13</b>
1.1. Introducción al problema de estudio.....	14
1.2. Justificación.....	18
1.3. Objetivos.....	19
-Objetivo general	
-Objetivos específicos.	
1.4. Fundamentación teórica.....	20
-Antecedentes históricos.....	22
-Tableros derivados de la madera.....	23
-Tableros OSB (Tableros de fibras orientadas).....	26
-Tableros de MDF (Fibras de densidad media).....	28
-Tableros de plywood (Tableros contrachapados).....	30
-Definición de variables.....	32
-Huella ecológica.....	32
-Huella de carbono.....	33
-Huella hídrica.....	34
-Biocupacidad.....	36
-Eficiencia estructural.....	37
-Confort.....	39

<b>2. ETAPA 2 • Metodología</b> .....	44
2.1 Estructura de la metodología.....	44
2.1.1 Metodología para el cálculo de la huella de carbono.....	45
2.1.2 Metodología para el cálculo de de la huella hídrica.....	47
2.1.3 Metodología para el cálculo de la biocapacidad.....	49
2.1.4 Metodología para el cálculo de la eficiencia estructural.....	50
2.1.5 Metodología para el cálculo del confort.....	50
2.1.6 Metodología para el cálculo de los costos.....	51
<b>2. ETAPA 3 • Difusión de resultados</b> .....	58
3.1 Comparación del peso de las estructuras.....	58
3.2 Huella de carbono en los tableros derivados de la madera.....	59
3.3 Huella hídrica en los tableros derivados de la madera.....	60
3.4 Eficiencia estructural en los tableros derivados de la madera.....	61
3.4 Biocapacidad en el contexto ecuatoriano.....	62
3.5 Nivel de aceptación del consumidor.....	63
3.5 Conclusiones.....	64
3.6 Recomendaciones.....	65





**ETAPA 1**  
**CONOCIMIENTO PREVIO**



## 1.1 Introducción al problema de estudio

El trabajo académico en arquitectura y construcción debe tener un interés primordial en la generación de conocimiento sistemático a través de la investigación y el desarrollo tecnológico que ayude a solucionar los problemas de nuestra sociedad. Debemos, "...superar la cultura de la emergencia para entrar en la de la sostenibilidad, entendida en sentido positivo, como una actuación oportuna en el tiempo a fin de facilitar medidas capaces para prevenir los problemas...", (Manzini & Bigues, 2000). La infraestructura de las ciudades en desarrollo como las latinoamericanas no son capaces de enmendar las necesidades de los pobladores, según las estadísticas del Banco Mundial, si no se mejora el estilo de vida pensando en que los recursos son finitos, se podría enfrentar una grave crisis migratoria, desplazando a casi 180 millones de personas para el 2050. Así rompiendo las frágiles estructuras sociales, políticas y urbanas de los estados en desarrollo. (United Nations, 2019).

Más de la mitad de las viviendas existentes en nuestras ciudades están en los barrios pobres, marginadas y aisladas de la estructura urbana de la ciudad, en emplazamientos especialmente vulnerables a fenómenos naturales como lluvias torrenciales, inundaciones, deslizamientos y terremotos (Baldó & Villanueva, 1998). Como consecuencia, la reducción de la vulnerabilidad, a través de la habilitación de los barrios urbanos es tarea prioritaria para mejorar las condiciones de vida de toda la ciudad y su población; y esto es parte de la lucha contra la pobreza. Se trata de lo-

grar el reconocimiento de los barrios en oposición a su desalojo compulsivo, idea que ha sido sustituida por la de su habilitación e incorporación a la estructura urbana de la ciudad. (Baldó & Villanueva, 1998). La industria de la construcción seguirá teniendo un impacto negativo para el ecosistema si se siguen usando los métodos y materiales convencionales. (Skullestad, Bohne, & Lohne, 2016).

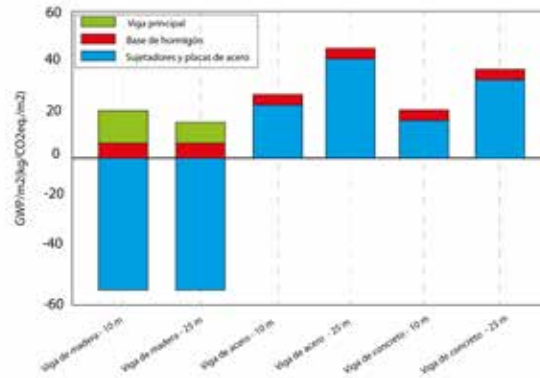


Fig. Impacto de los materiales de la construcción.

Fuente: PADT - REFORT, 1984.

El hormigón es el material de construcción más utilizado a nivel mundial, alcanzando niveles de consumo de 1m<sup>3</sup> por persona al año, (Gartner, 2004), y, según, (Torres-Carrasco & Puertas, 2017), menciona que, la producción mundial de cemento portland contribuye al menos el 5 al 7% de las emisiones globales de CO<sub>2</sub>. No se trata únicamente de "hacer más con menos", ni se trata asimismo de una simple reducción del consumo de recursos. Se trata más bien de lograr construcciones cuyo ciclo de vida no conduzca los flujos de materia y energía "de la cuna a la tumba" sino "de la cuna a la cuna" (McDonough & Braungart, 2003).





**Fig. Impacto ambiental en la construcción.**

Fuente: Acosta, 2009.

La construcción de edificios residenciales, han sido una actividad con un gran desarrollo, y en la actualidad es posible encontrar nuevas tipologías que se erigen, considerando diversos materiales y metodologías constructivas, dentro de éstas, existen algunas que despiertan el interés para ser indagados, debido a sus cualidades vanguardistas con ventajas respecto a los sistemas constructivos tradicionales. La madera es una buena alternativa al hormigón y al acero como material de construcción, debido a la alta relación resistencia/peso. Lo más destacado de los estudios es el análisis comparativo del ciclo de vida (ACV) (Reyes & Scarlen, 2017).

Si se reemplazara 1 metro cúbico de hormigón por la misma cantidad de madera, se evitaría la emisión de una tonelada de carbono a la atmósfera (Gustavsson , Pingound , & Sathre, 2006). Los bosques estabilizan la temperatura del planeta

tierra por que la madera retiene el gas de efecto invernadero CO2. Los materiales renovables son la única esperanza para una economía ecológica que ya no depende de combustibles fósiles. La depreciación de la madera como material de construcción crece constantemente, (FRITZ EGGER GmbH & Co. OG, 2020).



La presente investigación tiene como propósito enfocarse en el análisis comparativo del impacto ambiental de tableros derivados de la madera, debido a los recientes cambios ecológicos en el aire, agua y temperaturas de la zona, producidos por las actividades humanas dentro del ámbito constructivo. La generación de una comparativa de impacto ambiental, “nace con la necesidad de cuantificar (...) el impacto de un actividad o proceso, sobre el cambio climático (Jara, 2015, pág. 3)”. Sabiendo que, la industria de la construcción en el Ecuador representa más del 10% del PIB (Mundo Constructor, 2016), y que, “los materiales utilizados para la construcción de viviendas originan impactos, consecuencia de un alto consumo energético y de liberación de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y otros gases contaminantes (Mercader, 2010, pág. 4), se realizará una comparativa de distintas variables contaminantes, con la finalidad de cuantificar el impacto que representa esta actividad, sobre el cambio climático. Este trabajo permitirá comparar los diferentes materiales y sistemas constructivos y sus diferentes niveles de impacto ambiental tanto en su fabricación, uso y eliminación, además de, profundizar conocimientos teóricos sobre los distintos tableros derivados de la madera y los distintos procesos de construcción.



## 1.3 Objetivos

### Objetivo general

- Analizar el impacto potencial de los diferentes tipos de tableros derivados de la madera en el Ecuador en función a su tipo y uso en el contexto de la construcción.

### Objetivos específicos:

- Definir las variables a utilizarse para la comparación, medición, de los diferentes tableros derivados de la madera en el ámbito constructivo.
- Simular los datos recogidos en la investigación.
- Divulgar los resultados obtenidos a través de gráficos, tablas, imágenes.



## 1.4 Fundamentación teórica

El sencillo hecho de que la Tierra tenga unos límites concretos conlleva implícitamente la consecuencia de que posea unos recursos limitados. Esta evidencia hace que sea necesario un aprovechamiento sostenible de los recursos que garantice el desarrollo de las necesidades humanas a la vez que permite el mantenimiento y preservación de los recursos que lo hacen posible (Álvarez Gallego & Rodríguez Olalla, 2015).

Tal es la importancia del desarrollo sostenible que, en septiembre de 2015, Naciones Unidas aprobó oficialmente la llamada “Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible”, que constituye un hito en el proceso global de construcción de sociedades más igualitarias capaces de vivir en armonía con el medio ambiente. Tras su aprobación, los 17 nuevos objetivos de desarrollo sostenible incluidos en esta agenda reemplazarán a los 8 objetivos de desarrollo del milenio que guiaron los esfuerzos de los países durante los últimos 15 años (Álvarez Gallego & Rodríguez Olalla, 2015).

El 92% de la población mundial respira aire contaminado, "La contaminación del aire provoca daños en la salud de las poblaciones más vulnerables como, por ejemplo, las mujeres, niños y mayores. Y es que, para que la gente esté sana se debe respirar aire limpio desde que nace hasta que muere", ha aseverado el subdirector general de la OMS. (Bustreo, 2016).

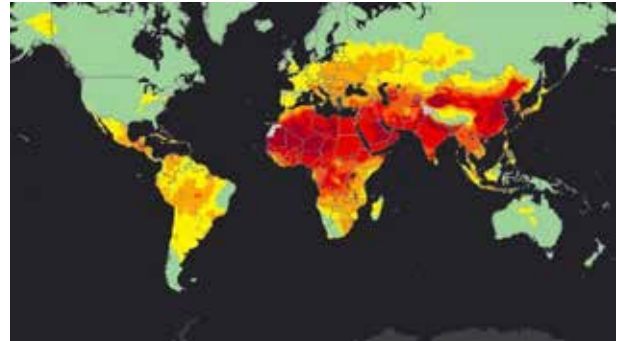


Fig. Las zonas más afectadas por la contaminación del aire son aquellas pintadas de rojo.

Fuente: Organización Mundial de la Salud (OMS).

De acuerdo con el mapa de la figura 3, publicado por la Organización Mundial de la Salud (OMS), los países latinoamericanos se encuentran entre los más contaminados, siendo aún mas grave la situación en Perú, Bolivia y Venezuela. Los arquitectos deberían tener como meta empujar el diseño eco amigable. (Cedeño Valarezo , 2013).

Tabla 1. Las ciudades mas contaminadas de latinoamérica.

Most Polluted Regional Cities			Least Polluted Regional Cities		
Rank	City	2020 AVG	Rank	City	2020 AVG
1	Coyhaique, Chile	33.3	1	Cruz Bay, U.S. Virgin Islands	3.5
2	Padre las Casas, Chile	21.8	7	Carmuj, Puerto Rico	3.7
3	Nacimiento, Chile	27.2	2	San German, Puerto Rico	3.7
4	Toluca, Mexico	27.1	4	Charlotte Amalie, U.S. Virgin Islands	3.8
5	Tijuana, Mexico	25.5	5	Punta Arenas, Chile	4.7
6	Puebla, Mexico	24.8	6	Puerto Baquerizo Moreno, Ecuador	4.9
7	Guadalupe, Mexico	24.8	7	Zacatecas, Mexico	5.4
8	García, Mexico	23.9	8	Cuncumen, Chile	5.6
9	Rancagua, Chile	23.8	9	Tufamandabostel, Ecuador	5.9
10	Emiliano Zapata, Mexico	23.1	10	Santiago de Queretaro, Mexico	6.3

Fuente: World Air Quality Report 2020.

La industria de la construcción y la operación de edificios le aportan al ambiente cerca del 40% de las emisiones de gases de efecto invernadero. (United Nations Environment Programme, 2007).

La extracción de materias primas y los procesos industriales para la fabricación de materiales de construcción causan daños a ecosistemas como la deforestación, la contaminación del aire con gases y partículas (polvo y ceniza), y la contaminación de cuerpos de agua (extracción de gravilla de los ríos para el concreto, canteras en cerros con vegetación nativa, contaminación del aire con los gases que emanan de los hornos de producción de coque para el acero, entre otros.), (Rocha Tamayo, 2011).

Uno de los mayores problemas que incita la fabricación de materiales de construcción es la contaminación del medioambiente, ya que la quema de combustibles para su producción es una de las mayores consumidoras de energía. Incluso se afirma que la industria de la construcción absorbe la mayor parte de la energía que se produce, además de procesar la mayor cantidad de materias primas. (González Couret)

La elección de materiales con menor contenido energético, tanto en su fabricación como su puesta en obra. Al respecto, de acuerdo con las tablas sobre el contenido energético de los materiales de construcción a la hora de ser fabricados, los metales son altos consumi-



**Fig. Extracción de materiales**

*Fuente: (Schaeffler Automotive Aftermarket Mexico, S. de R.L. de C.V., s.f.)*

dores (el aluminio, llega a 459.000 mj/m<sup>3</sup>), el concreto armado tiene un valor intermedio (4000 mj/m<sup>3</sup>), y los materiales naturales como la tierra cruda, la madera o el bambú, valores bajos. (Cedeño Valdiviezo, 2010).

**Tabla 2. Contenido energético de los materiales.**

Material	Contenido energético	
	Por peso (mj/kg)	Por volumen (mj/m <sup>3</sup> )
Poliuretano expandido	180	2.500
Aluminio	170	459.000
PVC	90	11.000
Cobre	78	698.000
Vinílico	45	6.000
Hierro y acero	40	300.000
Fibra de vidrio	38	2.000
Vidrio	26	67.000
Block de concreto	22	35.000
Ladrillo cerámico hueco	7,5	1.000
Yeso	2,4	1.700
Ladrillo común	1,8	3.000
Concreto armado	1,8	4.000
Concreto	1,8	2.600
Adobe	0,2	320

Fuente: (Evans & De Schiller, 1991).

## 1.5 ANTECEDENTES HISTÓRICOS

El profesor Huete Fuertes (Cuadernos de Construcción, nº5. febrero 1.983. Sevilla, 19-30) establece el Neolítico, con la aparición de la cultura agrícola y la vida sedentaria, como el momento en que aparecen los arquitectos y la arquitectura, es decir la utilización inteligente de los materiales de construcción, aunque haya que esperar algunos miles de años para que aparezcan con los griegos la denominación de arquitecto y el reconocimiento de la arquitectura como arte (Fuertes , 1983).

Durante muchos siglos, la arcilla y la madera son los materiales más consumidos en las construcciones, aunque también se utilizase la piedra, más

difícil de trabajar, cuyo uso se reservaba para la erección de columnas y pilares de templos y palacios (Olivares Santiago & Laffarga Osteret, 1997).

La utilización de la madera a lo largo de la historia del hombre, en los más variados campos y con una intensidad cada vez mayor, es garantía del valor constructivo de este material. (Peraza, 1984).

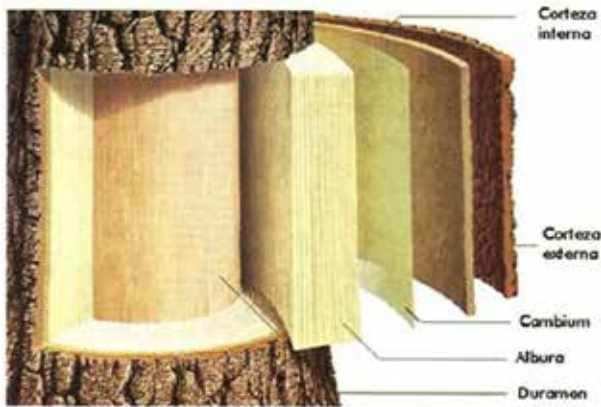


**Fig. La madera**

Fuente: (Emedec S.L, 2022)

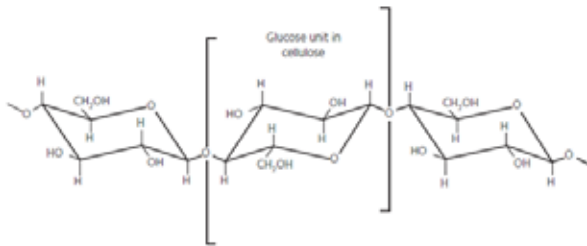
Desde un punto de vista práctico, el aprovechamiento maderable de un árbol se refiere principalmente al tronco y en menor escala a las ramas (Oliva, 1984). La madera es un conjunto de células que forman parte de un ser vivo, el árbol. Sus propiedades y posibilidades de empleo son, en definitiva, la consecuencia de caracteres, organización y composición química de las células que la constituyen (Oliva, 1984). El origen vegetal de la madera hace de ella un material con características peculiares que la diferencia de otros de origen mineral. Tiene sobre éstos la gran ventaja de ser un material renovable y, por tanto, una materia prima prácticamente inagotable (Oliva, 1984).

El tronco de un árbol tiene forma tronco - cónica y está formado por sucesivas capas superpuestas. Esto se debe a que entre la madera y la corteza existe una capa generatriz, llamada cambium, que, cuando las condiciones son favorables, produce madera hacia el interior y corteza hacia fuera. Como este fenómeno es similar en toda la superficie, en cada periodo vegetativo se forma una nueva capa que cubre la anterior (Oliva, 1984).



**Fig. Capas de la madera.**  
Fuente: (Maquituls, 2022)

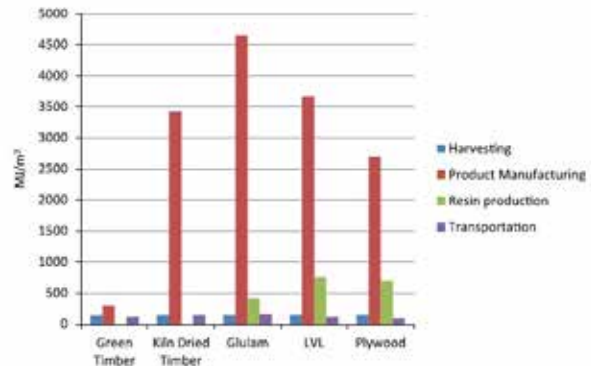
### 1.5.1 COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA MADERA



**Fig. Composición química de la madera.**  
Fuente: (Swedish Forest Industries Federation, 2016)

## 1.6 TABLEROS DERIVADOS DE LA MADERA

Tablero o plancha es un producto forestal, elemento obtenido de la madera por procesos industriales, en forma de láminas compuestas de hojas, partículas o fibras. Muchos países latinoamericanos tienden a fabricar y utilizar cada vez más paneles a base de madera, ya que pueden utilizarse con fines estructurales o decorativos (Chan Martín, Araujo Molina, Azueta García, & Solís Rodríguez, 2004).

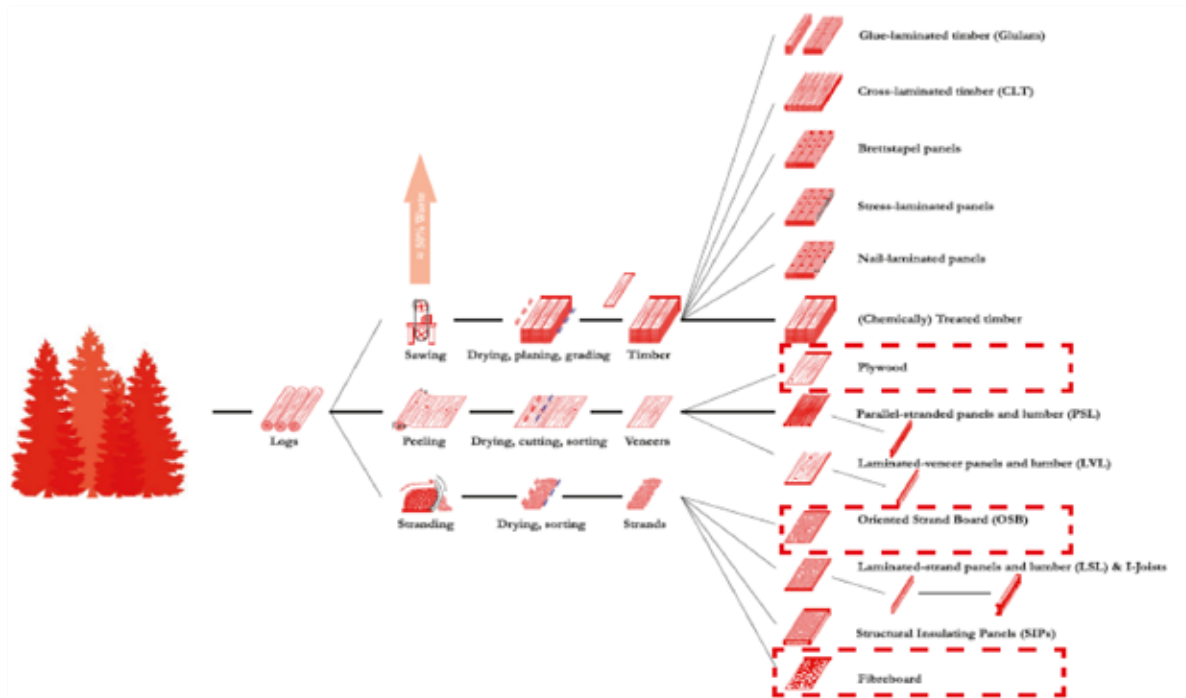


**Fig. Energía típica incorporada de los productos de madera para la construcción.**

Fuente: (Puettmann Maureen & Wilson James, 2005)

Hay tres tipos principales de paneles a base de madera: tablero contrachapado, tablero de fibra y tablero de partículas. El tablero enlaminado se incluye en el contrachapado y de la chapa de madera se suele tratar en unión del tablero contrachapado. El tablero de fibra también comprende dos productos independientes: el prensado (tablero duro) y el no prensado (tablero aislante). A excepción de la chapa de madera, que por lo general se utiliza como cara de otros tableros, todos estos productos son, hasta cierto punto, intercambiables. Por lo tanto, es necesario examinarlos conjuntamente (FAO, s.f.).





**Fig. Cadena de procesamiento de productos de ingeniería de madera.**

*Fuente: (Fleming).*

De estos tres tipos, la madera contrachapada y sólo la madera contrachapada se pueden usar para la construcción. Esto se debe a que el tablero de fibra no tiene las propiedades requeridas para el uso en la construcción. Cada tipo de tablero, se caracteriza por propiedades específicas de, pero en general, ofrece ventajas significativas en lo que respecta al uso de la madera (Chan Martín, Araujo Molina, Azueta García, & Solís Rodríguez, 2004).

Algunas de estas ventajas son:

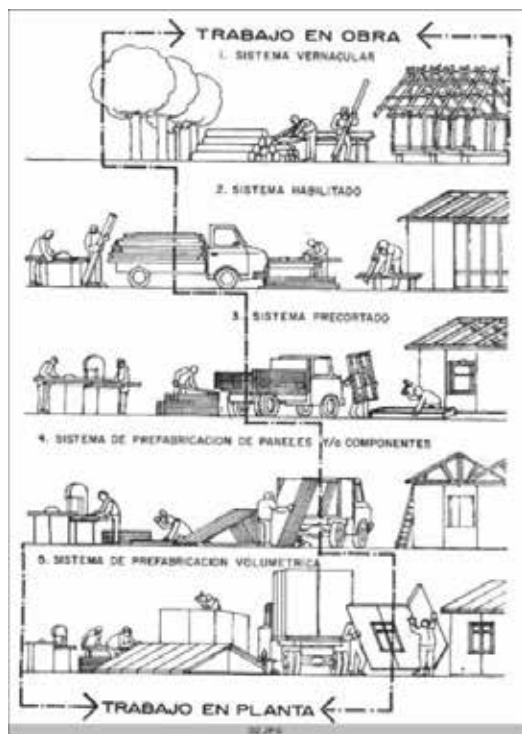
- Elimina o reduce los efectos del de-

bilitamiento de la madera causado por nudos, variaciones de grano u otros defectos.

- Debido a las dimensiones más grandes de que la madera aserrada, grandes áreas de se pueden cubrir fácilmente.
- Tienen una mejor estabilidad dimensional.
- Reduce el desperdicio en el procesamiento ya que está hecho de material que algunos aserraderos consideran desperdicio.
- Cumplen requisitos específicos incorporando diferentes materiales o alterando adecuadamente el tratamiento térmico o mecánico de la exposición a elemen-

tos con agua, fuego, acción mecánica específica requerida para aplicaciones estructurales específicas. Pueden diseñarse para cumplir con la perecebilidad o la resiliencia.

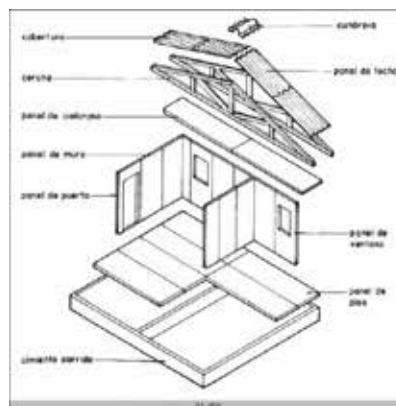
- Esto le permite usar semillas de crecimiento rápido y ciertas semillas marginales blandas.



**Fig. Tipos de sistemas constructivos con madera.**

Fuente: (PADT - REFORT, 1984)

Este es un sistema de construcción muy atractivo debido a que es posible diseñar una gran variedad de casas, todas ellas con distribución arquitectónica distinta, utilizando los mismos paneles modulares (Chan Martín, Araujo Molina, Azueta García, & Solís Rodríguez, 2004).



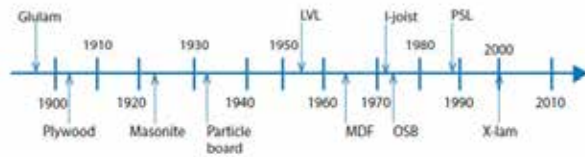
**Fig. Sistema de prefabricación de tableros**

Fuente: (PADT - REFORT, 1984)

La clasificación de la madera contrachapada es complicada por varias industrias y su rápido desarrollo. Las principales formas de clasificación son:

- Por geometría y tamaño de las partículas.
- Por el tamaño de las partículas en las superficies y el centro.
- Por la densidad del tablero.
- Por el tipo de adhesivo.
- Por el método de fabricación.

Las partículas para los tableros pueden producirse a partir de troncos enteros o de residuos. Son muchas las especies que se utilizan, pero suelen preferirse las que son de baja densidad. La partícula ideal en cuanto a resistencia mecánica y estabilidad dimensional es una hojuela delgada de grueso uniforme con una alta relación largo a grueso. Sin embargo, este tipo de partículas es difícil de producir. En la práctica las partículas varían en tamaño de 1.25 a 2.25 cm de largo y de 0.025 a 0.038 cm de grueso. A veces su tamaño se reduce al de unas cuantas fibras unidas entre sí (Echenique, 1993).



**Fig. Línea de tiempo de productos derivados de la madera.**  
 Fuente: *Elaboración propia, basada en (PADT - REFORT, 1984).*

### 1.6.1 PRINCIPALES PASOS PARA LA FABRICACIÓN DE LOS TABLEROS DE PARTÍCULAS.

**2.4.1 PREPARACIÓN DE PARTÍCULAS**  
 Este paso comienza con el recorte de todas las materias primas utilizadas. Entonces cuando la caña se pela y se corta, deja pedazos, estos son hojuelas. Este paso comienza con el recorte de todas las materias primas utilizadas. Entonces, cuando un tronco se pela y se corta, deja virutas de madera, que son escamas (PADT - REFORT, 1984).

**2.4.2 SECADO DE PARTÍCULAS**  
 Actualmente, hay dos tipos principales de equipos utilizados para el secado de pellets. Secador de tambor y secador de tubo, entre los que se encuentra el más común. Los pellets viajan 1, 2 o 3 veces la longitud del secadero antes de vaciarse. Si los gránulos están muy húmedos, las temperaturas pueden alcanzar los 870°C en su zona de paso, mientras que para los gránulos más secos se utilizan temperaturas cercanas a los 260°C (PADT - REFORT, 1984).

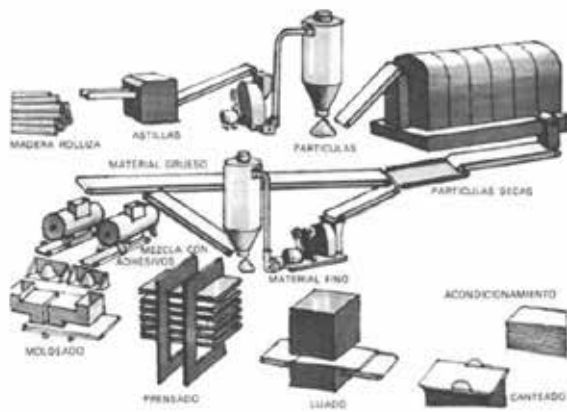
**2.4.3 SEPARACIÓN DE PARTÍCULAS POR TAMAÑO**  
 Las partículas secas se tamizan para eliminar el polvo y se separan en polvo según el tamaño. Esto le permite usar las partículas más pequeñas en la superficie y las partículas más grandes en el centro del panel. Si no se elimina el polvo, tiende a absorber mucha resina, lo que reduce la resistencia mecánica del disco (PADT - REFORT, 1984).

**2.4.4 MEZCLADO DE PARTÍCULAS Y ADHESIVO**  
 Los principales aglutinantes sintéticos utilizados en la producción de paneles son urea-formaldehído soluble en agua y fenol. Ambas son mejoras basadas en las últimas investigaciones, con menos contaminación del aire y tiempos de curación más rápidos (PADT - REFORT, 1984).

**2.4.5 FORMACIÓN DEL COLCHÓN**  
 Antes de prensar las tablas, las virutas de madera encoladas se apilan unas sobre otras de modo que se extienden como un colchón sobre una cinta sin fin del siguiente grosor más uniforme posible. Recientemente, se ha desarrollado un formador de colchón en el que los gránulos son transportados por aire impulsado por un ventilador para asegurar la uniformidad de espesor deseada del colchón de gránulos. La peculiaridad de estas máquinas es que el grano de la capa superficial es perpendicular al grano de la capa intermedia y así forma una lámina de tres capas, lo que la hace cada vez más ancha (PADT - REFORT, 1984).

**2.4.5 REACONDICIONAMIENTO E IGUALAMIENTO**  
 La placa debe retirarse inmediatamente después de completar la operación de prensado. Esta pérdida de humedad puede estresar los paneles, haciendo que el proceso de acabado sea más difícil e ineficiente (PADT - REFORT, 1984).

**2.4.6 ACABADO**  
 Cuando la lámina se ha enfriado y el contenido de humedad es uniforme y está en equilibrio con la humedad ambiental de la instalación de producción, la lámina se corta al espesor final. Las lijadoras de banda ancha más eficientes se utilizan a menudo para este proceso. En algunas fábricas, el acabado incluye la aplicación de pintura, barniz, madera contrachapada, cartón impregnado de fenol y láminas de plástico o vinilo. El proceso general de aglomerado se muestra en la siguiente figura (PADT - REFORT, 1984).



**Fig. Esquema general de proceso de fabricación de los tableros de partículas.**

*Fuente: Elaboración propia, basada en (PADT - REFORT, 1984).*

## 1.6.2 OSB (TABLEROS DE FIBRAS ORIENTADAS)

### 2.5.1 ASPECTOS GENERALES DE LOS TABLEROS OSB

Los tableros OSB (Oriented Strand Board), son paneles de madera reconstituida, producidos con hojuelas las cuales después de ser secadas, encoladas con adhesivos resistentes al agua (fenol formaldehído y MDI), dispuestas en capas direccionadas, y finalmente prensadas. Las virutas u hojuelas no son productos de desechos de otro proceso de fabricación. Como resultado de esto, se obtiene un tablero que por sus propiedades físico – mecánicas es apto para uso estructural ya sea para interior como en el exterior de las viviendas (ZÚÑIGA CHACÓN, 2010).

El tablero está técnicamente desarrollado para estructuras de alta calidad, resistente y fáciles de trabajar, se puede trozar, perforar, clavar, atornillar, cepillar y lijar, utilizándose herramientas y elementos de corte comunes. Cubre grandes superficies rápidamente y provee solidez y rigidez a la armazón durante el levanta-

tamiento. No requiere de un tratamiento especial, sino el mismo grado de cuidado que cualquier tablero. Los cantos del OSB llevan una película especialmente formulada para protegerlos de la humedad (Edwards, 1996).

También cabe señalar que el proceso de producción tiene un bajo impacto en el medio ambiente. Las tecnologías utilizadas permiten un control suficiente de las emisiones al medio ambiente. Los aglutinantes utilizados, resina fenólica y MDI, se polimerizan completamente durante el proceso de prensado para evitar una mayor emisión de gases nocivos.

Entre las aplicaciones industriales, su alta resistencia mecánica, facilidad de trabajo, versatilidad, bajo costo y ausencia de emisiones de formaldehído lo convierten en una excelente alternativa a las estructuras en madera, madera maciza y tableros contrachapados.



**Fig. Fabricación de los tableros de partículas.**

*Fuente: STRANGELY*

### 1.6.2.1 APLICACIONES ESTRUCTURALES

El tablero OSB es un producto de calidad, fabricado con un grado de precisión e ingeniería avanzada, que pueden llegar a demostrar en determinadas aplicaciones al mismo nivel de carga, comportamientos similares al tablero contrachapado, incluso con espesores inferiores para el OSB, con la siguiente reducción de costos. El tablero OSB es también ampliamente utilizado como forro para techados, en la producción de embalaje industrial, en las fabricaciones de cajas para camiones, como material para encofrado o simplemente para la construcción de estantes para ferias y exposiciones. Con la finalidad de que el público conozca mejor este producto, recientemente se ha actualizado una página (ZÚÑIGA CHACÓN, 2010).



**Fig. Tableros OSB en techos.**

*Fuente: (GRUPO SIERO, 2022)*

El OSB tiene aplicaciones muy variadas en el sector de la construcción de viviendas, en todos los tipos existentes, dentro de los cuales se puede mencionar: bases de cubiertas de techos, revestimientos de tabiques estructurales, pisos, escalas, vigas doble T, forros de aleros, etc. (ZÚÑIGA CHACÓN, 2010).



**Fig. Tableros de OSB en muros.**

*Fuente: (Drywall, 2020)*

### 1.6.3 TABLEROS DE MDF

Los tableros MDF son fabricados a partir de fibras de madera, estas son mezcladas con parafina y resina para posteriormente obtener los tableros mediante procesos termomecánicos. Existen diversos tipos de tableros diferenciados por los materiales de los que están hechos los cuales proporcionan diferentes propiedades, texturas, densidad, color, etc. Las amplias cualidades de estos tableros como: su densidad, rigidez y maquinabilidad, los han convertido en una alternativa ideal frente a la madera contrachapada o el tablero de partículas; los tableros MDF proporcionan mayor estabilidad dimensional sin veta predominante como la de la madera (Estévez, 2012).

Los tableros MDF se han consolidado en la industria del mueble a nivel mundial, adaptándose a una amplia gama de aplicaciones y paulatinamente integrándose en la edificación civil. Dado que el MDF se basa en fibra de madera, es un material polivalente y se considera un producto respetuoso con el medio ambiente



**Fig. MDF (Medium density fiberboard).**

*Fuente: MDF. Image © ArchDaily*

(Maloney, 1996), define al MDF como aquellos tableros fabricados en seco, con fibras lignocelulósicas combinadas con una resina sintética u otro agente de aleación, compactados a una densidad entre 0,50 y 0,80 g/cm<sup>3</sup> por prensado en caliente, en un proceso en que la totalidad de la adhesión entre las fibras depende del adhesivo adicionado.

Según (Younquist, 1998), el MDF es un producto homogéneo, uniforme, estable, de superficie plana y lisa, que ofrece buena trabajabilidad y maquinado para encajar, tallar, cortar, atornillar, perforar y moldurar. Incluso, produce economía en cuanto a la reducción del uso de tintas, pinturas y lacas, economía en el consumo de adhesivo por metro cuadrado, además de presentar óptima aceptación para recibir revestimientos con diversos acabados. El Brasil presenta condiciones favorables para convertirse en un importante productor mundial de tableros de madera. Sin embargo, para que haya desa-

rollo es necesario invertir en tecnologías destinadas a mejorar la producción de tableros derivados de madera.

Según (Hillis & Brown, 1998), en Australia el uso de fibras de eucalipto en productos de madera reconstituida es concentrado, principalmente en la industria de tableros duros. Los tableros duros producidos con fibras de eucalipto presentan mayor ventaja cuando comparadas a los tableros producidos con fibras de otras especies. No es necesario adicionar resina para proporcionar un alto nivel de resistencia, a la inversa de lo que sucede en el caso de maderas menos densas que exigen más resinas. Por el hecho que las fibras de eucalipto son cortas, no forman tantos grumos como ocurre con las fibras largas, así los tableros producidos con fibras de eucalipto presentan mejores propiedades superficiales.

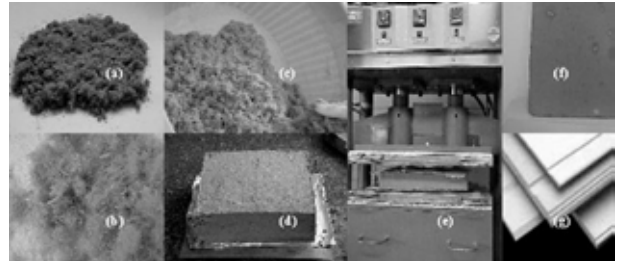


**Fig. Aplicación de tableros de MDF en la construcción.**

*Fuente: MDF. Image © ArchDaily*

Según (Holokiz, 1971), consiguió comprobar que fibras de eucalipto usadas en la composición del MDF, han proporcionado mayor módulo de ruptura (MOR) para los tableros, y valores ligeramente inferiores en cuanto a las propiedades de absorción de agua e hinchamiento en el espesor. (Pranda, 1995), produjo tableros MDF con fibras de eucalipto que exigieron un mayor porcentaje de adhesivo para alcanzar las mismas propiedades mecánicas que presentaron los MDF producidos con fibras de Pinus. Sin embargo, en cuanto a las propiedades físicas de hinchamiento y absorción, los MDF producidos con fibras de eucalipto con el mismo contenido de adhesivo del MDF producido con Pinus presentaron mejores valores.

Normalmente en la fabricación del MDF se usa urea formaldehído. Sin embargo, buscando encontrar nuevos adhesivos y resinas para la fabricación, este trabajo emplea una resina alternativa natural. La opción recayó en el adhesivo poliuretano de origen natural, utilizado en la producción del MDF en el laboratorio. Usando un recurso natural y renovable, es posible sintetizar el polioliol y prepolímeros que tienen características originales diferentes de la planta de óleo de ricino que, cuando mixto, produzca un poliuretano. Este adhesivo tiene un costo muy similar a la urea formaldehído, o sea, 1 kg de urea vale alrededor de 1,95 US\$/kg y el adhesivo poliuretano natural cuesta aproximadamente 2,05 US\$/kg, siendo que esta resina no utiliza otros aditivos, contrariamente a lo que ocurre con la urea formaldehído (de Campos & Rocco Lahr, 2004).

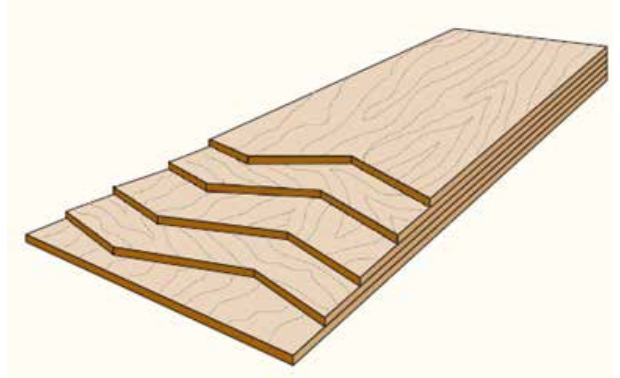


**Figura 1. Secuencia del proceso de producción de los tableros MDF en laboratorio (a) fibras, (b) fibras destacadas, (c) fibras encoladas, (d) colchón, (e) prensado real, (f) tablero en temperatura ambiente, (g) tablero modelado.**

*Fuente: (de Campos & Rocco Lahr, 2004)*

#### **1.6.4 TABLEROS PLYWOOD (TABLEROS CONTRACHAPADOS)**

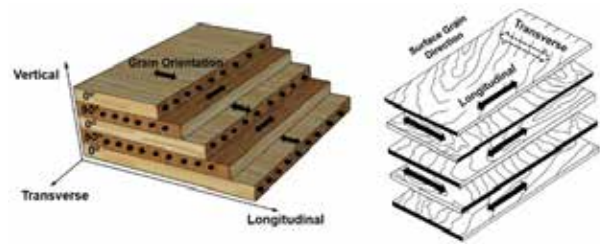
El Plywood o contrachapado es el tablero estructural de madera original. se compone de finas láminas de chapa, o capas, dispuestas en capas para formar un panel. La madera contrachapada puede tener un número par de capas, pero siempre tiene un número impar de capas, cada una de las cuales consta de una o más capas o chapas.



**Fig. Composición de un tablero de Plywood o contrachapado**

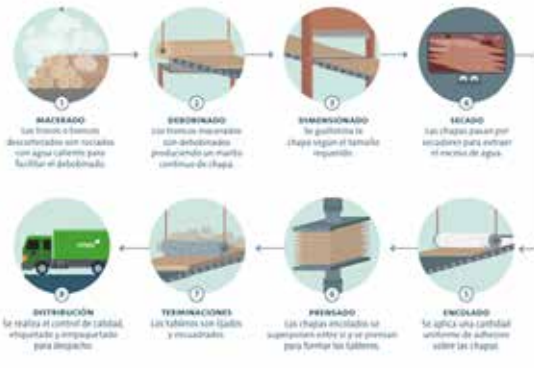
*Fuente: Apawood, 2015 .*

En la fabricación de madera contrachapada se gira un tronco en un torno y una larga hoja de cuchillo pela la chapa. Las chapas se recortan a una anchura adecuada, se secan cómo se clasifica y se reparan si es necesario. A veces, una capa se compone de 2 o más capas con la veta en la misma dirección, pero siempre hay un número impar de capas. La veta orientada paralelamente a la dimensión larga del panel (APA,2015).



**Fig. Composición de tablero contrachapado o plywood**

Fuente: (<https://fibralab.cl/procesos-transformacion-aserraderos-re-manufactura-y-plywood/>, s.f.).



**Fig. Proceso de elaboración del tablero contrachapado**

Fuente: (<https://fibralab.cl/procesos-transformacion-aserraderos-re-manufactura-y-plywood/>, s.f.).

Se aplica adhesivo a las chapas que se van a colocar. A continuación, las chapas se colocan en una prensa caliente donde se unen a presión para formar paneles. La madera es más resistente a lo largo de su veta coma y se encoge e hincha más a través de ella ([www.apawood.org](http://www.apawood.org), s.f.)

Al alternar la dirección del grano entre capas adyacentes, se maximiza la resistencia y la rigidez en ambas direcciones, y se minimizan la contracción y el hinchamiento en cada dirección ([www.apawood.org](http://www.apawood.org), s.f.).

### 1.6.4.1 CARACTERÍSTICAS DEL TABLERO PLYWOOD O CONTRACHAPADO

- **Resistencia:** Al ser madera de origen natural, ofrece una mayor resistencia al uso prolongado y a situaciones cotidianas. En el caso de estos tableros, al ser contruidos con direcciones alternadas de sus láminas, se consigue mayor uniformidad y durabilidad. Por esta ventaja, se considera un material óptimo para usos en zonas comerciales o de alto tráfico (<https://edimca.com.ec/blogs/usuarios-beneficios-plywood.html>, s.f.).
- **Ligereza:** A pesar de que se pueden utilizar distintas especies de madera, normalmente se utilizan aquellas que son ligeras o semi ligeras. Este aspecto facilita el transporte y manipulación de los tableros. Siendo un producto maquinable y fácil de procesar (<https://edimca.com.ec/blogs/usuarios-beneficios-plywood.html>, s.f.).
- **Estabilidad:** El proceso de elaboración de estos tableros garantiza que las láminas no se separarán y que contarán con la firmeza y estabilidad suficiente, en cualquier aplicación (<https://edimca.com.ec/blogs/usuarios-beneficios-plywood.html>, s.f.).
- **Facilidad de trabajo:** El formato de ta-



blero, así como su peso, ayudan a una manipulación más sencilla de la madera. Esto aporta mayor versatilidad de usos. Por lo que es una gran alternativa para tus proyectos mobiliarios (<https://edimca.com.ec/blogs/usos-beneficios-plywood.html>, s.f.).

- Seguridad: El plywood cuenta con propiedades que brindan mayor seguridad a los usuarios, como por ejemplo su capacidad de ser aislante y acondicionador acústico, su resistencia al fuego y al agua, y que no se deteriora fácilmente con la humedad (<https://edimca.com.ec/blogs/usos-beneficios-plywood.html>, s.f.).
- Durabilidad: Los productos hechos con plywood no se deterioran con facilidad y no suelen tener esta apariencia hasta mucho tiempo después de su construcción (<https://edimca.com.ec/blogs/usos-beneficios-plywood.html>, s.f.).

#### 1.6.4.2 APLICACIONES DEL TABLERO CONTRACHAPADO EN LA CONSTRUCCIÓN

Proyecto constructivo de una casa de madera de pino, basado en el sistema estructural “pies derechos”, para mostrar la forma de proceder al considerar construir un modelo de vivienda en particular (FILIO REYNOSO, 2016).

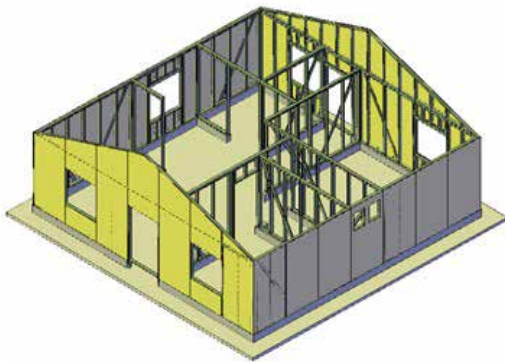


Fig. Colocación de tableros contrachapados en una vivienda.  
Fuente: (FILIO REYNOSO, 2016).

## 1.7 DEFINICION DE VARIABLES

### 1.7.1 HUELLA ECOLOGICA

La construcción, y otros agentes intervinientes de forma directa o indirecta, tiene notables impactos ambientales en cuanto a consumo de recursos naturales y energía o emisión de gases de efecto invernadero, de ahí la necesidad de considerar la dimensión ambiental como clave en un enfoque de construcción sostenible. El proceso de la construcción es responsable de más del 40% de los recursos naturales, más de un 30% del consumo de energía y más de un 30% de las emisiones de gases de efecto invernadero (CAMBIO GLOBAL ESPAÑA 2020/50, 2010). Además, es responsable de una parte mayoritaria del consumo de madera y de agua a nivel mundial. El indicador HE se ha utilizado desde su creación para la determinación de los impactos, en diferentes escalas: para predecir los impactos generados por la humanidad, para el cálculo periódico de la huella de la humanidad en el planeta o para calcular periódicamente la HE de diferentes países, ciudades, barrios, sectores productivos e industrias. Esta metodología, adaptada a las características únicas del sector de la construcción, ha sido elegida, en efecto, por su comprensibilidad, transparencia y capacidad de adaptación. En el área de la edificación, el indicador HE se ha aplicado al estudio del crecimiento de distritos de gran altura en Teherán (SAMADPOUR & FAR-YADI, 2008), en viviendas de campesinos (ZHAO, Xueyan y, & Xiaowen, 2013), en hoteles (LI & CHENG, 2010) y en la rehabilitación de una casa centenaria (BIN & PARKER, 2012); además de haberse desarrollado una herramienta para la estimación de la huella ecológica y huella de carbono de edificios (OLGYAY, 2008).

### 1.7.2 HUELLA DE CARBONO

La Huella de Carbono, definida en forma muy general, representa la cantidad de gases efecto invernadero (GEI) emitidos a la atmósfera derivados de las actividades de producción o consumo de bienes y servicios (Pandey, Agrawal, & Pandey, 2010), y es considerada una de las más importantes herramientas para cuantificar las emisiones de dichos gases.

Los GEI, definidos en el protocolo de Kioto el año 1997, forman una capa permanente en la parte media de la atmósfera que impide que toda la radiación solar que es devuelta por la tierra pueda salir, provocando con ello que la temperatura bajo la capa aumente (Espíndola & Valderrama, 2011).

En este contexto climático mundial, el entorno urbano construido desempeña un papel importante, ya que los edificios por sí solos son responsables de al menos el 38% del calentamiento global. Los edificios por sí solos son responsables de al menos el 38% de las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero relacionados con la energía. las emisiones de gases de efecto invernadero

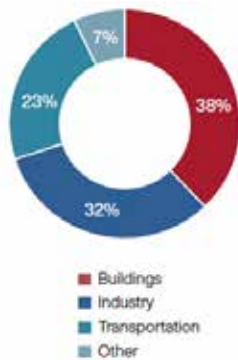


Fig. Emisiones de co2 relacionadas con la energía por sectores. Fuente: (Embodied Carbon Reduction Guide, 2022).

dero (GEI) relacionadas con la energía (Embodied Carbon Reduction Guide, 2022).

Para organizar y seguir el impacto del carbono de un edificio, su vida útil puede dividirse en diferentes etapas. Cada etapa representa un del ciclo de vida de un edificio, de principio a fin, y está asociada a distintos niveles de emisiones de carbono (Embodied Carbon Reduction Guide, 2022).

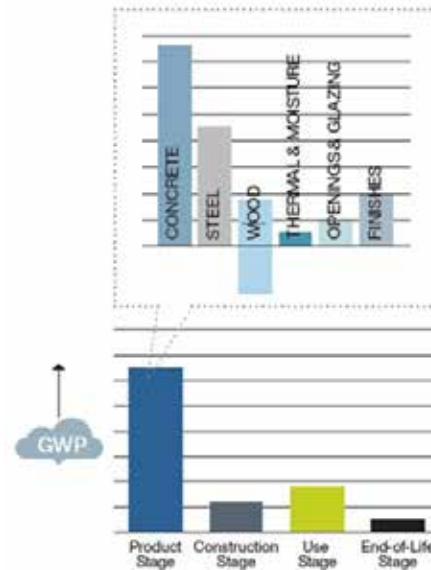


Fig. Carbono incorporado ejemplo de contribuciones.

Fuente: MKA Mixed-use Project WBLCA study, 2020

Cuando se examina la etapa de producto para edificios, los materiales estructurales utilizados para sostener un edificio tienden a ser los que más contribuyen a su degradación.

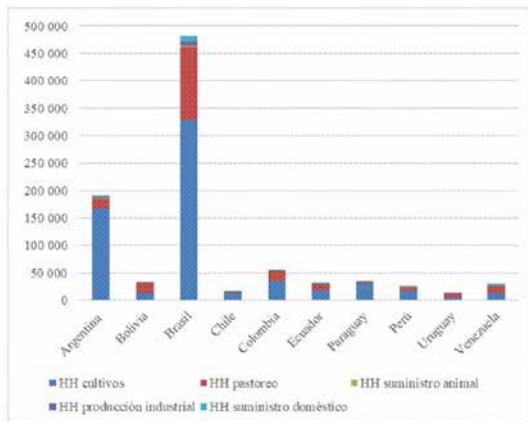
Las estructuras utilizadas para sostener un edificio tienden a ser los que más contribuyen a las emisiones de carbono incorporadas, seguidos de los elementos no estructurales como los acabados arquitectónicos.



**Fig. Ciclo de vida de la madera en la construcción.**  
Fuente: (Embodied Carbon Reduction Guide, 2022)

### 1.7.3 HUELLA HIDRICA

La idea de considerar el uso del agua a lo largo de las cadenas de suministro ha cobrado interés después de la introducción del concepto de “huella hídrica” por Hoekstra en 2002 (Hoekstra, 2003). La huella hídrica es un



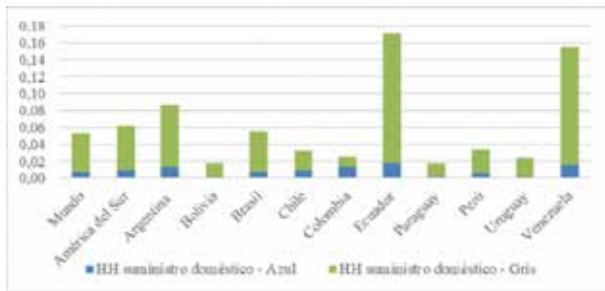
**Fig. América del Sur. Distribución de la huella hídrica de la producción. 1996-2005 (en Mm3).**

Fuente: Fuente: elaboración propia en base a datos de Mekonnen y Hoekstra (2011).

indicador de uso de agua dulce que es palpable no sólo en el uso de agua directo de un consumidor o productor, sino también en su uso indirecto (Amórtegui, Vega, & Rojas, 2016).

La huella hídrica puede ser considerada como un indicador global de apropiación de los recursos de agua dulce, por encima de la medida tradicional y restringida de la extracción de agua. La huella hídrica de un producto es el volumen de agua utilizada para producir el producto, medidos a lo largo de la cadena de suministro (Cruz González, 2017).

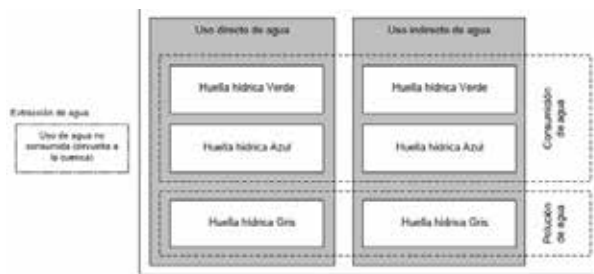
Es un indicador multidimensional, que muestra los volúmenes de consumo de agua por fuentes y volúmenes de contaminación por cada tipo de contaminación, y cuyos componentes de huella hídrica total pueden ser especificados geográfica y temporalmente. La huella hídrica azul se refiere al consumo de los recursos de agua azul (agua superficial y subterránea) a lo largo de la cadena de suministro de un producto (Amórtegui, Vega, & Rojas, 2016).



**Fig. Mundo y América del Sur. Composición de la huella hídrica de suministro doméstico. 1996-2005 (en Mm3 per cápita).**

Fuente: *elaboración propia en base a datos de Mekonnen y Hoekstra (2011).*

“El consumo” se refiere a la pérdida de agua de la masa de agua disponible del suelo de la superficie en un área de captación. Las pérdidas se producen cuando el agua se evapora, vuelve a otra zona de captación o al mar o se incorporan al producto. La huella hídrica verde se refiere al consumo de los recursos de agua verde (agua de lluvia en la medida en que no se pierde por filtro o río abajo) (Hoekstra A. , Chapagain, Aldaya, & Mekonnen, 2010).



**Fig. Representación esquemática de los componentes de la huella hídrica. Donde se muestra que la parte no consumida de la extracción de agua (devuelta a la cuenca) no es parte de la huella hídrica. También muestra que, además de medir la “extracción de agua”, la “huella hídrica” incluye agua verde y gris y un componente indirecto del uso de agua.**

Fuente: *(Hoekstra A. , Chapagain, Aldaya, & Mekonnen, 2010)*

La huella hídrica gris se refiere a la contaminación y se define como el volumen de agua dulce que se requiere para asimilar la carga de contaminantes más allá de las concentraciones naturales del lugar y la calidad del agua (Di Rienzo, 2017).

### 1.7.3.1 EVALUACION DE LA HUELLA HIDRICA

“Evaluación de la huella hídrica” se refiere a toda una gama de actividades para (i) cuantificar y localizar la huella hídrica de un proceso, producto, productor o consumidor o de cuantificar en el espacio y el tiempo la huella hídrica de una zona geográfica específica, (ii) evaluar la sostenibilidad ambiental, social y económica de esa huella hídrica y (iii) formular una estrategia de respuesta (Hoekstra A. , Chapagain, Aldaya, & Mekonnen, 2010).

En términos generales, el objetivo de evaluar las huellas hídricas es analizar cómo las actividades humanas o de productos específicos afectan a las cuestiones de escasez de agua y su contaminación y ver cómo las actividades y los productos puedan ser más sostenibles desde la perspectiva del agua (Hoekstra A. , Chapagain, Aldaya, & Mekonnen, 2010).

El punto de vista de una evaluación de huella hídrica depende en gran medida del foco de interés. Se puede estar interesado en la huella hídrica de una etapa del proceso específico en una cadena de producción, o en la huella hídrica de un producto final. Alternativamente, nos puede interesar la huella hídrica de un consumidor o un grupo de consumidores o la de un productor o sector económico (Hoekstra A. , Chapagain, Aldaya, & Mekonnen, 2010).

Por último, se puede tomar una perspectiva geográfica, analizando la huella hídrica total dentro de un área delimitada de un municipio, provincia, o nación, de captación de agua o cuenca hidrográfica. Esta huella hídrica

total es la suma de las diferentes huellas hídricas de los muchos procesos distintos que tienen lugar en la zona. (Hoekstra A. , Chapagain, Aldaya, & Mekonnen, 2010).

“La evaluación de la huella hídrica” es una herramienta de análisis, puede ser eficaz en ayudar a comprender cómo las actividades y productos se relacionan con la escasez de agua y su contaminación y los impactos asociados y qué se puede hacer para asegurarse que las actividades y productos no contribuyan a un uso insostenible del agua dulce. Al utilizarla como herramienta, la evaluación de la huella hídrica proporcionará una visión más profunda. En vez de decirnos lo “debemos hacer”, nos incita a comprender lo que se podría hacer (Hoekstra A. , Chapagain, Aldaya, & Mekonnen, 2010).

Una evaluación de la huella hídrica total está compuesta de cuatro fases distintas.

- Establecer objetivos y su alcance
- Contabilizar la huella hídrica
- Evaluar la sostenibilidad
- Formular la respuesta

## 1.7.4 BIOCAPACIDAD

El análisis de la huella ecológica parte de la premisa que la humanidad debe vivir dentro de la capacidad de carga. También sostiene que si elegimos sabiamente incluso sería posible mejorar nuestra calidad de vida (Rees & Wackernagel, 2001, pág. 41).

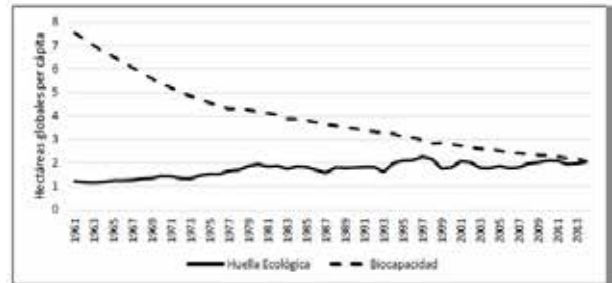


Fig. Serie histórica Huella Ecológica y Biocapacidad del Ecuador.  
Fuente: Global Footprint Network, 2017.

El consumo desmedido de los recursos naturales ha despertado el interés por medir la actual devastación ambiental con el fin de garantizar la subsistencia de las futuras generaciones. Actualmente las restricciones ecológicas son más severas, puesto que la tasa existente de explotación de recursos y de generación de residuos

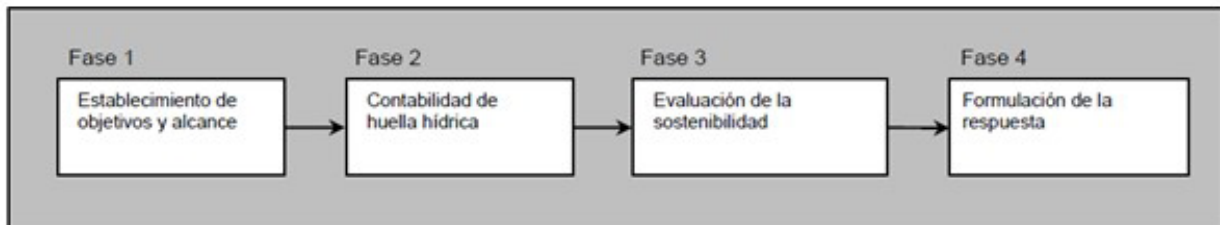


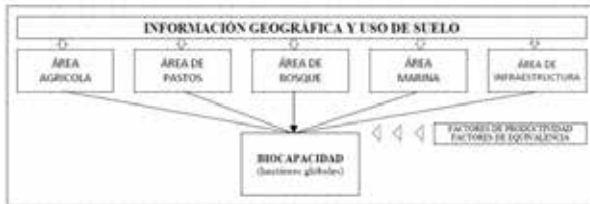
Fig. Cuatro fases distintas en la evaluación de la huella hídrica: (1) el establecimiento de objetivos y alcance, (2) contabilidad huella hídrica, (3) evaluación de la sostenibilidad, (4) la formulación de la respuesta.

Fuente: (Hoekstra A. , Chapagain, Aldaya, & Mekonnen, 2010)

está agotando fuentes de insumos fundamentales para la vida y las economías del planeta (Rees & Wackernagel, 2001).

Por otro lado, la integración del indicador de sustentabilidad denominado Biocapacidad (BC) en el análisis de la huella ecológica es importante ya que al igual que la HE, BC da a conocer cuan sustentable es una economía. Este indicador muestra la superficie de tierra disponible para un determinado nivel de producción, consumo y absorción de residuos. En efecto, la BC se puede definir como la habilidad de los ecosistemas del mundo para proveer de servicios ambientales y recursos naturales necesarios para la humanidad (Andrade & Défaz, 2016).

Es importante señalar que la BC incluye solo cinco de las superficies productivas, este se debe a que las áreas de bosques absorben carbono y proveen de recursos maderables, incluyéndose estos dos servicios en una sola categoría (Bosques) (Andrade & Défaz, 2016).



**Fig. Análisis de Biocapacidad.**

Fuente: Global Footprint Network, 2017.

También cabe mencionar que la BC está directamente relacionada con la población y se expresa per cápita. Generalmente, a medida que aumenta la población, disminuye la disponibilidad de recursos por persona. por habitante, ya que cada nuevo habitante necesita un área para proveer los bienes y servicios necesarios para las actividades diarias (Velasteguí & Chilingua, 2018).

### 1.7.5 EFICIENCIA ESTRUCTURAL

La simple comparación de los pesos propios de los sistemas constructivos tradicionales pesados (forjados de viguetas y hormigón armado) con los entramados ligeros de madera revela una diferencia abismal en relaciones resistencia/peso. La construcción ligera en madera tiene un peso propio de un orden siete veces inferior al sistema tradicional pesado. En un forjado pesado la estructura pesa casi lo mismo que la carga que resiste, mientras que en uno de madera su peso no suele llegar al 20% de la carga soportada (Arriaga & AITIM, 1995).

La NEC-SE-CG, especifica que el diseño para estructuras de madera se lo realiza por el método de esfuerzos admisibles. Las cargas se consideran que actúan con las combinaciones que se encuentran en la Norma ASCE7-10, que forman parte y son referencia para la Norma Ecuatoriana de la Construcción. Se debe tomar en cuenta las combinaciones de carga que generen los efectos más desfavorables en el elemento estructural a ser diseñado (Norma Ecuatoriana de la Construcción, 2016).

Al no existir un ítem en la norma ecuatoriana de la construcción para tableros derivados de la madera, para esta investigación, se utilizará la norma chilena NCh803Of2003 (Elementos de construcción, paneles, ensayos de flexión - compresión), la cual se detalla a continuación.

Esta norma establece los métodos de ensayos para deter-

minar el comportamiento y resistencia a la flexión de paneles que constituyen una parte o segmento de un muro de construcción. Además, esta norma describe dos métodos de ensayo, uno con el panel de ensayo en posición horizontal y otro en posición vertical. Los ensayos descritos pretenden reproducir condiciones de carga representativas de aquellas encontradas en servicio. La compatibilidad entre los datos obtenidos con estos ensayos y los requisitos respectivos puede asegurar la suficiencia estructural y vida de servicios del panel (NCh801, 2003).

### 1.7.5.1 CARGAS DE COMPRESIÓN

Cuando sobre un panel actúan fuerzas de compresión uniformemente distribuidas y paralelas al eje principal del mismo, se pueden distinguir dos situaciones: que las fuerzas actúen sobre un plano ubicado en el centro del espesor del panel (eje de simetría lateral), o que actúen en forma excéntrica a éste.

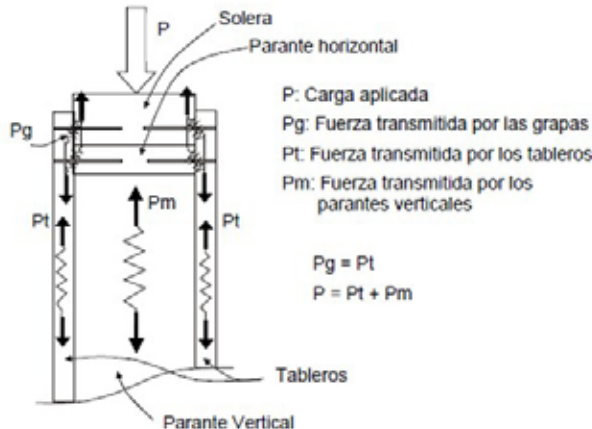


Fig. Distribución de fuerzas en un panel bajo cargas de compresión (P), aplicadas sobre su eje de simetría

Fuente: (Lomagno, 2001).

En el primer caso se producen esfuerzos de compresión pura, y la posibilidad de que ocurra pandeo, mientras que, en el segundo, la aplicación excéntrica de las cargas genera en el panel esfuerzos de compresión y de flexión, esta última debida al momento de la carga respecto al eje de simetría lateral del mismo. El esfuerzo actuante en cada punto de éste será la suma de los esfuerzos de compresión de la carga aplicada, más la tracción o compresiones debidas a la flexión (Lomagno, 2001).

La variación de la longitud total de cada panel fue medida con 2 m.d. centesimales ubicados en la parte media del ancho de este y uno en cada lado de este, lo que permitió determinar el acortamiento de la distancia entre las dos soleras con una precisión de 0,01 mm (Lomagno, 2001). La deformación lateral del panel fue medida mediante dos m.d. de igual precisión que el indicado en el párrafo anterior ubicados en la parte media de la altura y uno en cada borde del panel. La velocidad de desplazamiento del cabezal de aplicación de cargas fue regulada en aproximadamente 1 mm/minuto (Lomagno, 2001).

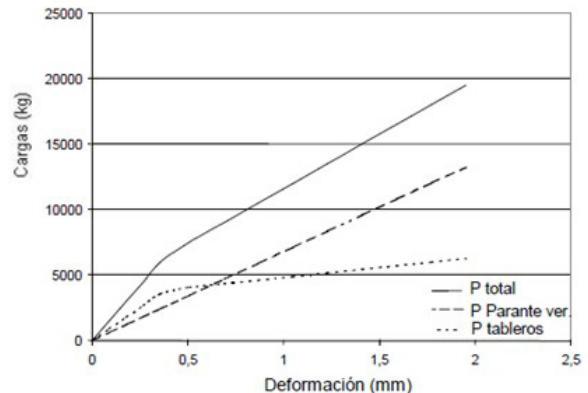


Fig. Carga transmitida por los parantes verticales (Pm) y por los tableros (Pt), de un panel de 1220 por 2440 mm de sección principal, sometido a una carga de compresión (P).

Fuente: (Lomagno, 2001).

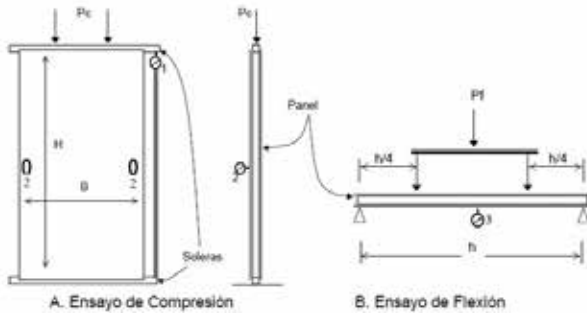


Fig. Ensayos de paneles de 2440 mm (H) por 1220 mm (B) 1, 2 y 3: medidores de las deformaciones (m.d.).

Fuente: (Lomagno, 2001).

### 1.7.5.2 RESULTADOS

Con los promedios de las cargas y las deformaciones por compresión (m.d. 1) se construyó la siguiente tabla, observándose que las deformaciones aumentan en relación aproximadamente lineal con la carga en el intervalo de 0 y 6000 kg. A partir de este valor se observa un aumento en el incremento de las deformaciones, lo que dio lugar a considerar a este punto como el límite de proporcionalidad del panel (Lomagno, 2001).

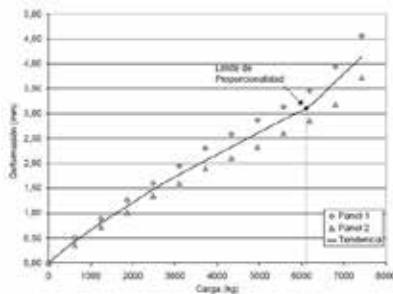


Fig. Deformaciones laterales en paneles sometidos a flexo-compresión, obtenidas del ensayo de paneles reales (rombo), y mediante el cálculo considerando la ausencia de deslizamiento entre los tableros y el armazón (línea continua).

Fuente: (Lomagno, 2001).

### 1.7.5 CONFORT

Cuando el ser humano expresa satisfacción con el medio que lo rodea se dice que se está en condiciones de confort. En el ambiente interior de un edificio, diversos parámetros están interactuando con el ser humano, influyendo en las condiciones a las que éste se somete (Fritz & Ubilla, 2012).

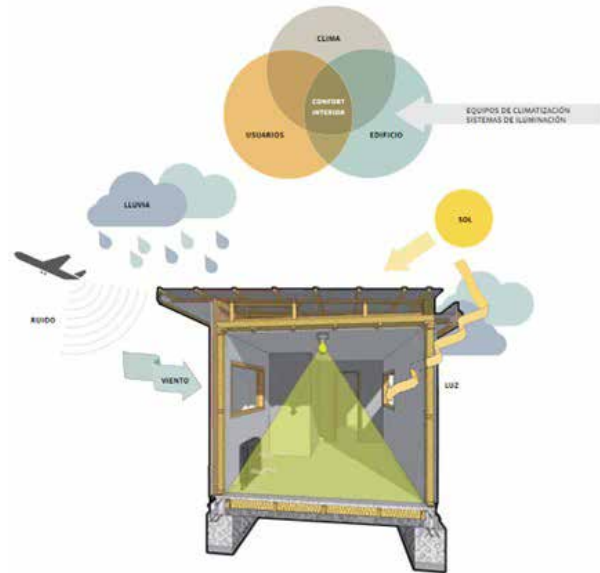


Fig. Esquema de relación entre clima, edificio y usuarios y sus variables más relevantes.

Fuente: (Fritz & Ubilla, 2012).

Dentro de estos parámetros se encuentran la temperatura ambiental del aire, la temperatura media radiante de las superficies del ambiente interior, la humedad relativa del aire, la presión atmosférica, el color de las superficies del ambiente, la intensidad y calidad de la luz y niveles de ruido (Fritz & Ubilla, 2012).



Por lo tanto, toda la industria forestal debe trabajar duro para adaptarse a estos cambios a fin de seguir siendo competitiva. Al mismo tiempo, la creciente conciencia ambiental en todo el mundo está creando una conciencia positiva de la industria forestal y de la carpintería. En particular, la madera como recurso renovable puede hacer una contribución importante a los patrones de consumo y producción sostenibles. Además, el uso de la madera está ganando apoyo en el debate sobre el cambio climático causado por el hombre porque reduce la concentración del gas de efecto invernadero CO<sub>2</sub> en la atmósfera. El uso de la madera como material de construcción se consideró particularmente beneficioso debido a sus propiedades protectoras a largo plazo. Por ejemplo, el gobierno alemán planea trabajar con industrias y asociaciones relevantes para lograr un aumento del 20 % en el consumo de madera en el país para 2014 a través de cartas de promoción de la madera (BMVEL, 2009).

El documento requiere el estudio de varias áreas de comunicación e investigación de marketing, como el análisis de las necesidades del consumidor y las estrategias publicitarias adecuadas. Esto se conecta con un documento existente que brinda información sobre las actitudes de los consumidores en esta área particular del uso de la madera en la industria de la construcción (Gold & Rubik, 2009).

**Tabla. Modelo de encuesta de satisfacción del cliente.**

Natural	88	11	1	0
Acogedor	76	20	3	1
Ecológico	70	21	7	2
Estética	68	26	6	1
Saludable	66	27	5	1
Estable	47	37	13	1
Moderno	46	40	12	2
Larga duración	37	40	19	3
Valor estable	27	43	23	5
Caro	23	40	24	5
Abundante	9	17	43	30
Resistente al fuego	7	12	29	51
Pregunta: ¿Hasta qué punto está de acuerdo con la siguiente afirmación? La madera como material de construcción es .				

*Fuente: (Gold & Rubik, 2009)*

Se describen las barreras y oportunidades para la comercialización de casas de madera. Esto puede facilitar el desarrollo y la implementación de innovaciones relevantes de productos y servicios, así como el desarrollo de estrategias de marketing prometedoras (Gold & Rubik, 2009).



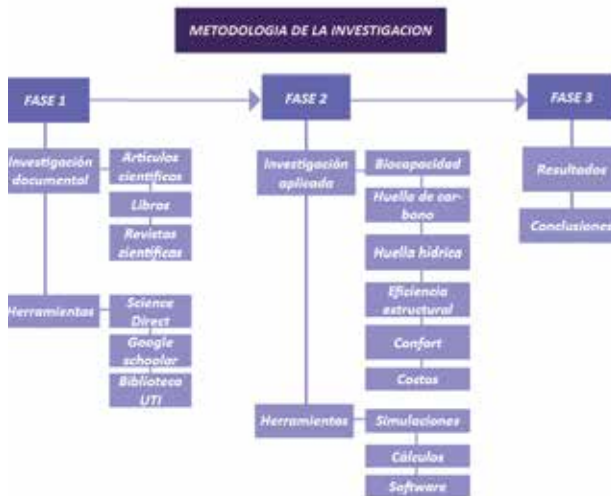


**ETAPA 2**  
**APLICACIÓN METODOLÓGICA**



## Materiales y métodos

La investigación es un conjunto de procesos sistemáticos, críticos y empíricos que se aplican al estudio de un fenómeno o problema. (Hernández Sampieri, 2014). Con el problema anteriormente descrito como: “Análisis comparativo del potencial de tableros de derivados de la madera en torno al impacto medioambiental de la construcción”, se ha procedido a implementar en enfoque de investigación cuantitativa por fases.



**Fig. Estructura de la metodología.**

*Fuente: Elaboración propia basada en Hernández Sampieri.*

En este proceso, el instrumento de medición o de recolección de datos tiene un papel central. Sin él, no hay observaciones clasificadas. (Hernández Sampieri, 2014). En primer lugar, en la fase inicial, denominada investigación documental, se procede a la búsqueda de información en libros, revistas científicas, artículos científicos, dentro del contexto del tema de investigación, además, la recolección de información debe ser fundamentada, comprobada y aceptada por la comunidad científica. Para recolectar la información necesaria descrita anteriormente, se han utilizado como herramientas, los recursos bibliográficos de: Google scholar, science direct, biblioteca digital UTI, artículos científicos, ensayos, tesis de cuarto nivel y estudios de organizaciones internacionales. Como resultado se obtendrá la fundamentación teórica que respaldará la determinación de las variables aplicables para el caso de estudio. Debido a que los datos son producto de mediciones, se representan mediante números (cantidades) y se deben analizar con métodos estadísticos. (Hernández Sampieri, 2014). En segundo lugar, se procederá a la investigación experimental, en el cual se determinará un conjunto de variables que se mantendrán constantes, estas variables son: biocapacidad, huella ecológica (huella de carbono, huella hídrica), eficiencia estructural, costos y el confort. Como resultado se obtendrán datos cualitativos, con los que se realizará un matriz comparativa entre los distintos elementos analizados. Asimismo, en la fase de análisis comparativo, se establecerá relaciones entre un grupo de elementos para obtener fundamentos válidos para diferenciarlos o asemejarlos. Este trabajo tiene propósitos comparativos y busca dejar claras evidencias que denoten como los tableros derivados de la madera impactan medioambientalmente en las construcciones dentro del contexto ecuatoriano. Este análisis se llevó a cabo de manera objetiva, basada en los resultados de la investigación documental, además de, cálculos, simulaciones de software y demás he-

ramientas que facilitan la obtención respuestas claras y concretas para su posterior evaluación e interpretación. Para concluir, los resultados anteriormente obtenidos ya sea, en cálculos o simulaciones, se realizará el análisis comparativo a través de una matriz o tabla comparativa entre los diferentes elementos, es decir, los distintos table-ros derivados de la madera y en el contexto ecuatoriano. “... de las preguntas se establecen hipótesis y de-terminan variables; se traza un plan para pro-barlas (diseño); se miden las variables en un de-terminado contexto; se analizan las mediciones obtenidas utilizando métodos estadísticos, y se extrae una serie de conclusiones” (Hernández Sampieri, 2014).

### 2.1.1 METODOLOGÍA PARA EL CALCULO DE LA HUELLA DE CARBONO

La Calculadora de Carbono Incorporado en la Construc-ción (EC3) es una herramienta gratuita de libre acceso que permite la evaluación comparativa, la evaluación y la reducción del carbono incorporado, centrándose en las emisiones iniciales de la cadena de suministro de materiales de construcción. La herramienta EC3 uti-liza cantidades de materiales de construcción proce-dentes de estimaciones de construcción y/o modelos BIM y una base de datos de Declaraciones Ambienta-les de Producto (DAP) digitales verificadas por terceros (Global Material Resources Outlook to 2060, 2019).



**Fig. Metodología de EC3 SIMULADOR DE EMISIONES.**  
*Fuente: Elaboración propia basada en simulador EC3.*

Por lo tanto, en aras de la simplicidad, en este método se ignora la naturaleza interdependiente de estas va-riables. El método de la raíz cuadrada media se utiliza para combinar las incertidumbres de todos los facto-res, produciendo un conjunto de valores de incerti-dumbre +/- para la EPD. Z se utiliza para simbolizar la incertidumbre y se representa como un porcentaje por encima o por debajo de los datos medios comuni-cados. Z para la EPD global, zEPD, se calcula sumando la varianza (z<sup>2</sup>) de cada factor y sacando la raíz cuadra-da:(Global Material Resources Outlook to 2060, 2019).

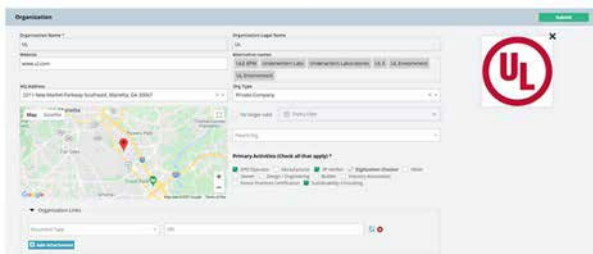
**Método de las incertidumbres**

$$Z_{EPD} = \sqrt{Z_M^2 + Z_F^2 + Z_P^2 + Z_T^2 + Z_R^2}$$

**Fig. Método de las incertidumbres.**

Fuente: Elaboración propia basada en EC3.

### 4.1.1.2 PROCEDIMIENTO PARA UTILIZAR CALCULADORA DE CARBONO INCORPORADO EN LA CONSTRUCCIÓN

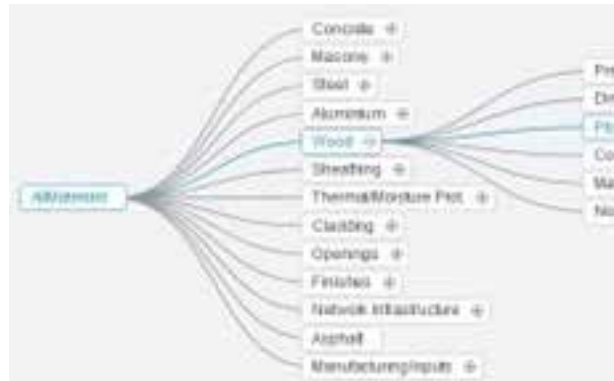


Example Organization page.

**Fig. Creación de organización para un proyecto nuevo.**

Fuente: EC3 Building Transparency

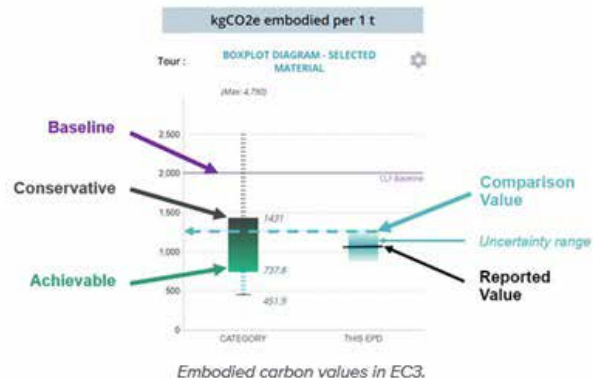
b. Buscar y comparar materiales.



**Fig. Selección de materiales a compararse**

Fuente: EC3 Building Transparency

c. Declare la característica del producto.



**Fig. Resultados de carbono incorporado en los materiales de construcción**

Fuente: EC3 Building Transparency



d. Comparación de resultados.

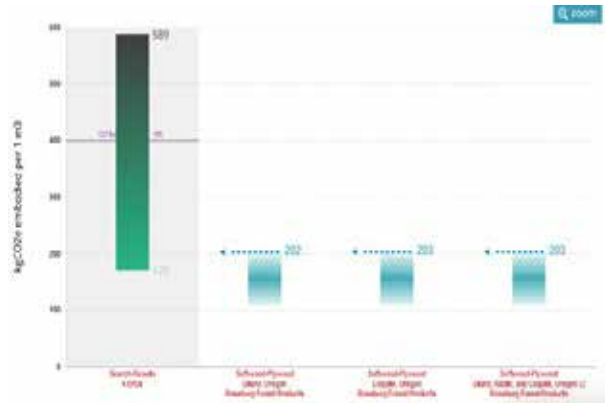
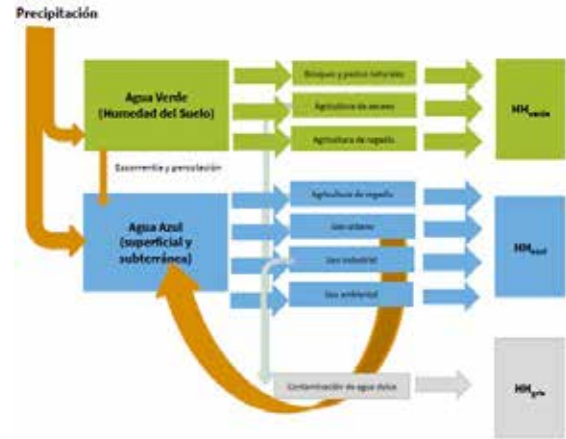


Fig. Comparación entre los distintos materiales de construcción.  
Fuente: EC3 Building Transparency

### 2.1.2 METODOLOGÍA PARA EL CALCULO DE LA HUELLA HIDRICA

La HH puede ser expresada como un único valor, o de forma desagregada presentando sus tres componentes por separado. Pero es importante remarcar, que independientemente de cómo sea expresada, este indicador volumétrico no se traduce en una medida de impacto en sí misma (Hoekstra A. , Chapagain , Aldaya, & Mekonnen , 2011). Es, por tanto, fundamental contextualizarla, localizándola temporal y geográficamente, para comprender sus posibles implicaciones económicas, sociales o ambientales, en lo que se conoce como evaluación de sostenibilidad. De esta forma, el posible impacto derivado de la HH dependerá de numerosos factores, como las características climáticas y geológicas, la topografía, la disponibilidad de agua, la vulne-

rabilidad de los ecosistemas asociados, los niveles de contaminación existentes o del coste de oportunidad del agua, entre otros (Chapagain & Tickner , 2012).



### 2.1.2.1 ENFOQUES ALTERNATIVOS PARA EL CALCULO DE LA HUELLA HIDRICA RESIDENCIAL



Fig. Enfoques alternativos para calcular la huella hídrica residencial- Fuente: (Universidad Autónoma de Madrid, 2019)

### 2.1.3 METODOLOGIA DE CALCULO POR EL ENFOQUE DE PESO

La metodología LCA se utiliza para cuantificar los impactos ambientales que se generan durante todas las fases del proceso de producción de un producto determinado, tanto a través de las técnicas de producción aplicadas como del consumo de productos intermedios, analizando sus impactos, entre otros, sobre el cambio climático y la emisión de contaminantes (Universidad Autónoma de Madrid, 2019). Por su parte, WFA es una metodología de investigación que analiza la relación entre el consumo de determinados bienes y servicios y la utilización de agua necesaria para su producción, de forma directa como agua verde (para productos agrícolas y silvícolas) y como agua azul (para el regadío en la agricultura y la producción del resto del productos y servicios). A esta HH directa (verde más azul) se tendría que sumar la indirecta, como agua gris (o volumen de agua necesario para la eliminación de los contaminantes generados en dichos procesos de

producción por dilución). Pero esta HH gris sólo tenemos que computarla si los efluentes no se depuran: por definición, si devolvemos masas de agua depurada a los ríos, no hay HH gris (Universidad Autónoma de Madrid, 2019). La madera es uno de los materiales que tiene una HH verde más elevada. Se debe tener en cuenta que la evaporación de los bosques representa el 45–58% del flujo de vapor total de la tierra a la atmósfera, aunque, por supuesto, no todo este volumen de agua está relacionado con el proceso de evaporación y transpiración de las plantas vinculado con su proceso de crecimiento (Universidad Autónoma de Madrid, 2019).

Tabla. Cálculo de la huella hídrica de la madera utilizada en el estudio de caso

kg madera	APLICADA EN:	tipo madera	densidad kg/m3	densidad media kg/m3	Huella hídrica m3/m3	Huella hídrica l/kg	Total Huella Hídrica litros
23.129	Muebles cocina	Aglomerado F2	630	630	1.031	1.636,5	37.899.807
87.445	Puentes	Pino roble (6,1%)	500	500	665	1.310,0	156.057.313
		MSF (41,5%)	600-800	700	708	1.011,4	
		Aglomerado (50,4%)	160-450	400	1.031	2.577,5	
40.431	Suelos	HDF	800-1127	1000	1.331	1.331,0	53.813.661
1.872	Madera baños	Pino roble	500	500	665	1.310,0	2.452.320
3.676	Muebles baños	Aglomerado	160-450	400	1.031	2.577,5	9.474.890
12.887	Palets	Pino roble	500	500	665	1.310,0	16.777.175
<b>169.390</b>	<b>TOTAL</b>	<b>Madera tipo</b>				<b>1.649,9</b>	<b>279.475.262</b>

Fuente: (Universidad Autónoma de Madrid, 2019)

El sistema de cálculo seguido ha sido el de asignar un tipo de madera para cada uso y convertir los datos de HH estimados por (Schyns,, Booi, & Hoekstra, 2017), en m3 de agua por m3 de cada tipo de madera a partir del cálculo de la densidad media de cada de ellos a datos de HH en litros por kg. Como vemos, la HH media de la madera utilizada sería de 1.649,9 litros de agua por kg, esencialmente HH verde evapotranspirada en el proceso de crecimiento natural de los árboles (Universidad Autónoma de Madrid, 2019).

Según las estimaciones de (Van Oel & Hoekstra, 2010) la huella verde de la madera seca de pino en rollo en España es de 655 m<sup>3</sup> de agua por m<sup>3</sup> de madera (algo menor que la media mundial, que se sitúa en 726 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>), es decir 1.310 m<sup>3</sup>/ Tn de madera, teniendo en cuenta que se utiliza como estándar de mercado que cada metro cúbico de madera seca de pino pesa 500 kg. Por tanto, la HH de la madera seca de pino en rollo es de 1.310 l/kg; si bien, el proceso por el cual dicha madera en rollo pasa a madera transformada incrementa dicha HH verde inicial (Universidad Autónoma de Madrid, 2019).

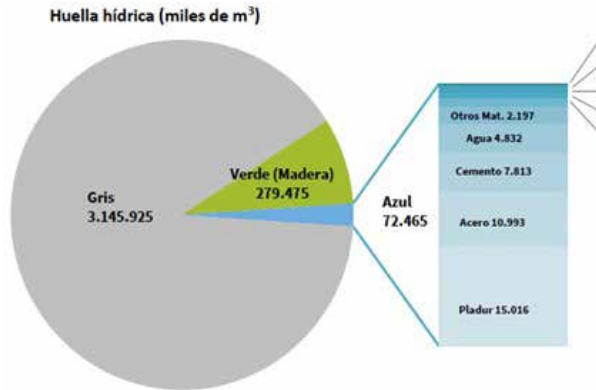


Fig. Distribución de la huella hídrica total  
Fuente: (Universidad Autónoma de Madrid, 2019)

## 2.1.2 METODOLOGÍA PARA EL CALCULO DE LA BIOCAPACIDAD

En efecto, para 1996 los investigadores William Rees y Mathis Wackernagel desarrollaron una metodología de cálculo para un indicador biofísico denominado Huella Ecológica (HE) (Velasteguí & Chilibingua, 2018). Esta metodología implicó una importante contribución para comprender los impactos del consumo y producción de los seres humanos (Rees & Wackernagel, 2001).

Tabla. Esquema de cálculo de la Biocapacidad



Fuente: Global Footprint Network, 2017

La metodología para el cálculo de la HE a través de este método de cálculo consiste en un proceso de varias etapas, estructurado de la manera que se detalla a continuación: en primer lugar, es necesario contar con información nacional sobre el consumo per cápita anual de un producto específico. Se debe tener en cuenta que las estadísticas nacionales recogen los datos de la producción nacional como de productos importados, mediante la ecuación (Velasteguí & Chilibingua, 2018).

Tabla. Ecuación para el cálculo de la biocapacidad

*Ecuación de cálculo para la biocapacidad*

$$BC = A * YF * EQF$$

**DONDE:**  
 BC = Biocapacidad.  
 A = Área de tipo de uso de suelo.  
 YF = Factor de productividad para el tipo de uso de suelo  
 EQF = Factor de equivalencia para un tipo de suelo dado.

Fuente: (Universidad Autónoma de Madrid, 2019)

### 2.1.4 METODOLOGÍA PARA EL CALCULO DE LA EFICIENCIA ESTRUCTURAL

El comportamiento mecánico de los sistemas de paneles depende en gran parte de la resistencia y rigidez de las uniones entre los tableros y las piezas de madera del armazón. Un buen sistema de unión debe reunir requisitos de resistencia mecánica, durabilidad y economía de instalación. Desde este punto de vista los clavos y las grapas han presentado un buen comportamiento mecánico y un bajo costo en construcciones con tableros (Chow, McNatt, Janowiak, & Gertner, 1985).

En el análisis teórico de la flexión debida al momento generado por la excentricidad de la carga P se consideró la hipótesis de que las deformaciones debidas a la flexión no originan deslizamientos en las uniones (dos uniones correspondientes cada una a un tablero, y ubicadas ambas a una misma distancia del borde inferior del panel tienen el mismo valor de deslizamiento) (Lomagno, 2001).

Para el cálculo de la deformación fue considerado el momento de inercia de la sección del panel ( $I$ ), el módulo de elasticidad ( $E_{fp}$ ), obtenido a partir de los módulos de elasticidad de los elementos constituyentes, ponderados por su participación en el momento de inercia total, y el momento flector actuante sobre el panel ( $M_f$ ), igual al producto entre la carga aplicada ( $P$ ) y la distancia desde su punto de aplicación al eje de simetría lateral del panel. Así fue posible definir una ecuación de la deformación de la línea elástica, mediante el método de la doble integración (Lomagno, 2001).

Tabla. Ecuación de cálculo para deformación de tableros

*Ecuación de cálculo para deformación en tableros*

$$f = \frac{1}{24} \times \frac{M_f \times h^2}{E_{fp} \times I}$$

**DONDE:**  
*f = Deformación lateral en el centro del panel*  
*M<sub>f</sub> = Momento flector aplicado al panel*  
*h = Distancia entre los apoyos del panel*  
*E<sub>fp</sub> = Módulo de elasticidad a flexión del panel*  
*I = Momento de inercia*

Fuente: (Lomagno, 2001).

En el primer caso, la norma NCh 806 (1975) califica cada panel a través de un ensayo a escala real, de acuerdo con la carga alcanzada por éste en el límite de proporcionalidad, determinada en un diagrama de cargas y deformaciones, mientras que en el segundo establece los valores máximos que puede alcanzar la deformación lateral, evaluada mediante ensayos de flexión estática de los paneles a escala real (Lomagno, 2001). El objetivo de este experimento fue calificar al panel propuesto de acuerdo con los requisitos de las clases resistentes indicadas en la norma citada en el párrafo anterior, para ello fueron construidos y evaluados 2 paneles de 4 x 8 pies (1220 x 2440 mm) (Lomagno, 2001).

### 2.1.5 METODOLOGÍA PARA EL CALCULO DEL CONFORT

Se seleccionó una encuesta telefónica evaluada cuantitativamente como método de recopilación y análisis de datos por tres razones principales: (1) Dado que el tema general del estudio existente ya ha sido tratado por varios trabajos anteriores, no era necesaria una nueva exploración.

ción del campo (Roßner, 2001). Las hipótesis derivadas de la bibliografía podían comprobarse mediante preguntas cerradas con categorías de respuesta predefinidas. (2) La información solicitada a los encuestados era lo suficientemente sencilla como para poder obtenerla sin emplear ayudas visuales. Por lo tanto, no era necesaria una entrevista cara a cara. (3) Una encuesta telefónica representaba una forma bastante rentable de garantizar resultados representativos de la población (Bryman, 2004). La encuesta se llevó a cabo en el marco del proyecto de investigación "Mercados futuros de la cadena de suministro de madera forestal" (Zukunftsmärkte der Forst-Holz-Kette - ZUFO), financiado por el Ministerio Federal alemán de Educación e Investigación dentro de su programa de investigación "Silvicultura sostenible" (Gold, Jersak, & Rubik, 2007). La muestra de 1004 personas, representativa de la población alemana mayor de 18 años, fue entrevistada entre noviembre y diciembre de 2006. Con el fin de equilibrar los posibles sesgos, los datos se armoniza-

ron con las estadísticas de la Oficina Federal de Estadística alemana (en términos de edad, sexo, estado federado y tamaño del municipio) y del Análisis de los Consumidores (en términos de edad, sexo, estado federado y tamaño del municipio) (Gold & Rubik, 2009).

### 2.1.5.1 EJEMPLIFICACION DE PREGUNTAS PARA UNA ENCUESTA

(1) la madera como material de construcción, así como hacia las casas de entramado y los marcos de ventanas de madera (estos últimos dejados de lado por este documento por motivos de reducción) como grupos de productos escaparate del sector de la construcción, (2) madera, así como la silvicultura y el sector de transformación de la madera, incluida una pregunta sobre visitas recientes a un bosque, (3) el medio ambiente y cuestiones sociopolíticas genéricas (Gold & Rubik, 2009).

Tabla. Ventajas asociadas al modo de construcción con madera

Resultados en % <sup>a</sup>	Encuesta					Media <sup>b</sup>
	Muy ventajosa	Más bien ventajoso	Más bien desventajoso	Muy desfavorable	No sé/ n/a	
Confort de vida acogedor	61	35	4	1	1	1.4
Aspectos sanitarios (alergias, calidad del aire ambiente)	60	31	6	1	2	1.5
Cuestiones medioambientales (material, ahorro de energía mediante un buen aislamiento térmico)	53	35	8	2	2	1.6
Estética y aspecto visual	39	46	11	2	1	1.8
Corto periodo de construcción	31	44	17	2	5	1.9
Opción de ampliación o reconstrucción sin complicaciones	30	41	22	4	3	2.0
Estabilidad/calidad del valor	26	43	25	3	3	2.0
Fácil contribución personal	28	42	20	5	5	2.0
Costes bajos	24	37	27	4	8	2.1
Fácil mantenimiento	18	32	37	12	2	2.4
Protección contra incendios	21	17	39	22	2	2.6
Modo de construcción típico de la región	11	30	39	17	3	2.6

Pregunta: En su opinión, ¿hasta qué punto son ventajosas las casas construidas predominantemente con madera en los siguientes aspectos?

Fuente: (Gold & Rubik, 2009).

## 2.1.6 METODOLOGÍA PARA EL CALCULO DE COSTOS

Para la construcción de toda obra, el hombre es motivado por su deseo de satisfacer alguna necesidad, y esto hace necesario, una técnica para planear, un tiempo para construir y los recursos necesarios para llevarla a cabo, por lo que lo más frecuente para obtener un precio unitario es expresarlo en un porcentaje de costo de materiales, costo de mano de obra y costo de maquinaria (Calero, 2015).

Costo es un término utilizado para medir los esfuerzos asociados con la fabricación de un bien o prestación de un servicio. Representa el valor monetario del material, mano de obra y gastos generales empleados (Rayburn, 1988).

Entre costo y gasto existe una diferencia, aunque muchas veces consideramos que hablamos de lo mismo. Cuando hablamos de costo esto constituye todo el dinero que la empresa interviene y tiene como fin último la fábrica (lugar donde se presentan los servicios o se producen los bienes), mientras que cuando hablamos de gasto constituye a todo el dinero que la empresa invierte en apoyo, soporte, en administración o en ventas (Calero, 2015).

Los elementos del costo son:

1. Dinero: Propio y ajeno/Base fundamental para el inicio y desarrollo empresarial
2. Planificación y estudio de factibilidad.
3. Selección, clasificación y determinación de los recursos de producción: Mano de obra calificada, maquinaria propia y moderna, materia prima en cantidad y calidad necesaria, costos indirectos de fabricación aplicados en base a su utilización.

4. Objetivos: Obtener utilidades económicas y sociales (Checa, 1997).

### 2.1.6.1 CARACTERISTICAS DEL COSTO

- El análisis de costo es aproximado. - la evaluación monetaria del costo no puede ser matemáticamente exacta, ya que situaciones como: no existen dos procesos constructivos iguales, la habilidad personal del operario, y el basarse en condiciones promedio de consumos, insumos y desperdicios, no lo permiten (Calero, 2015).

- El análisis del costo es específico. - dicho análisis no puede ser genérico, por sus condiciones periféricas de tiempo, lugar y secuencia de eventos (Calero, 2015).

- El análisis de costo es dinámico. - las mejoras en procesos constructivos, maquinaria y equipo obliga a una actualización constante de los análisis de costos (Calero, 2015).

El análisis de costo puede elaborarse inductiva o deductivamente.- Si la integración de un costo, se inicia por sus partes conocidas, si de los hechos se infiere el resultado, se estará analizando el costo de manera inductiva. Si a través de razonamiento se parte del todo conocido, para llegar a las partes desconocidas, se estará analizando el costo de manera deductiva (Calero, 2015).

**Tabla. Modelo de presupuesto de obra**

PRESUPUESTO					
Código	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
<b>A.01-MOVIMIENTOS DE TIERRAS</b>				<b>SUBTOTAL:</b>	<b>40,584.51</b>
A10.04	Excavación en suelo granular incluye desalojo	m3	9650.66	3.8	36,672.51
A10.05	Derrocamiento de elementos	m2	800	4.89	3,912.00
<b>A.02-CIMENTACIÓN</b>				<b>SUBTOTAL:</b>	<b>67,120.30</b>
A10.01	Encofrado de muro	m2	1970	9.49	18,695.30
A10.02	Acero de refuerzo fy = 4200 kg/cm2	kg	32500	1.49	48,425.00
<b>A.03-ESTRUCTURA</b>				<b>SUBTOTAL:</b>	<b>79,695.42</b>
A10.03	Hormigón en Losa e = 0.14 cm	m3	651	122.42	79,695.42
<b>A.04-ACABADOS</b>				<b>SUBTOTAL:</b>	<b>183,990.27</b>
A10.06	Empastado de paredes interiores	m2	1418.42	3.88	5,503.47
A10.07	Colocación de Porcelanato Italiano de 0.50 x 1.00 m en piso	m2	2360	75.63	178,486.80

Fuente: (Calero,2015).

### Definición de presupuesto

Es la suposición inteligente del valor de un producto. También se puede decir que es suponer cuanto costara dicho producto, que en nuestro caso es la obra. Como se 15 puede apreciar es algo tentativo y lo ideal es acercarse al 100% del costo de la obra y esto se logra teniendo análisis de precios unitarios reales y trabajables (Calero, 2015).

En resumen, se puede concluir que el presupuesto de ejecución de un proyecto es la suma de los productos de las distintas unidades de obra que lo forman, por el precio unitario de cada uno de ellos, en el que se encuentran incluidos los gastos de administración, dirección técnica y utilidades (Cámara de la construcción de Quito, 2001).







**ETAPA 3**  
**DIFUSIÓN DE RESULTADOS**



### 3. RESULTADOS

#### LIMITACIÓN DEL OBJETO DE ESTUDIO



**Fig. Prototipo MIDUVI (36m2) .**

*Fuente: Elaboración Propia basado en Ministerio de desarrollo y vivienda (MIDUVI) Ecuador.*

El objeto de estudio está basado en un prototipo proveniente del Ministerio de desarrollo y vivienda (MIDUVI), el cual posee un área de 36 metros cuadrados en planta . El espacio arquitectónico comprende:

- a) 2 dormitorios
- b) 1 baño
- c) 1 cocina
- d) 1 comedor
- e) 1 Sala

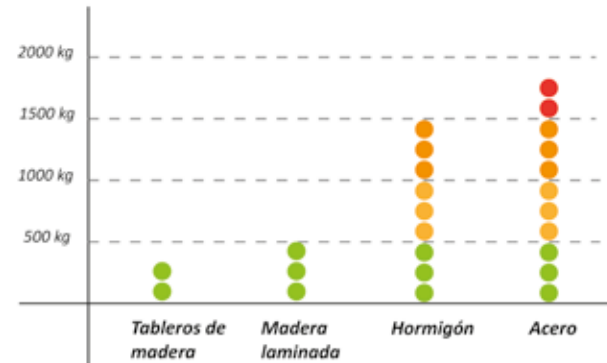
#### 3.1 COMPARACIÓN DEL PESO DE LAS ESTRUCTURAS DE ESTUDIO

A continuación se muestra el peso de los diferentes sistemas constructivos utilizados en la presente investigación y una comparativa con los sistemas constructivos convencionales.

**Tabla. Peso de estructuras en MDF, PLYWOOD Y OSB.**

MATERIAL	PESO ESPECÍFICO (KG)	PESO ESTRUCTURA (kg)
MDF	27,51	522,69
OSB	25,30	480,7
PLYWOOD	18,00	342

*Fuente: Elaboración propia.*



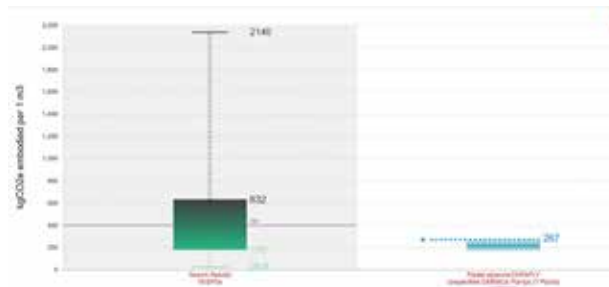
**Fig. Comparación del prototipo MIDUVI (36m2) en diferentes sistemas constructivos**

*Fuente: Elaboración Propia basado en Lomagno 2001.*

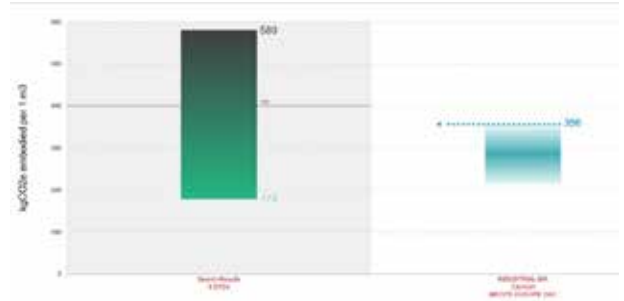
Como se puede apreciar en las ilustraciones anteriores, se puede deducir que el prototipo realizado en tableros derivados de madera son significativamente más livianos que los sistemas de construcción convencionales.

### 3.1 HUELLA DE CARBONO EN TABLEROS DERIVADOS DE LA MADERA

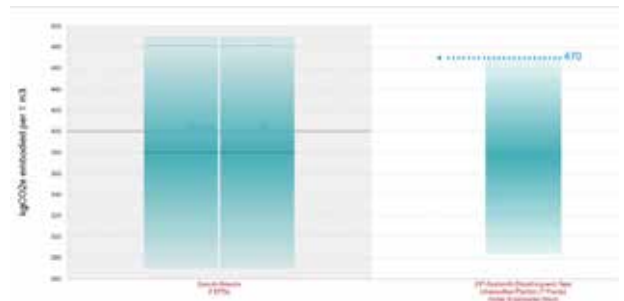
Para calcular la huella de carbono existente en los presentes materiales de estudio, se ha descrito anteriormente la herramienta de simulación EC3 SUSTAINABILITY, que ayudará a proveer los datos suficientes para el cálculo aproximado del impacto ambiental expresado en KgCO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup> (Kilogramos de CO<sub>2</sub> por cada metro cúbico de material).



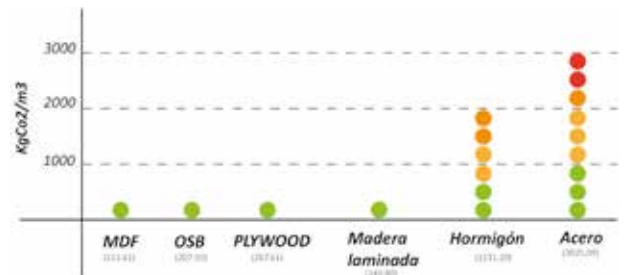
**Fig. KgCO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup> de MDF**  
Fuente: EC3 SUSTAINABILITY



**Fig. KgCO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup> de PLYWOOD**  
Fuente: EC3 SUSTAINABILITY



**Fig. KgCO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup> de OSB**  
Fuente: EC3 SUSTAINABILITY



**Fig. Comparación del CO<sub>2</sub> producido en diferentes sistemas constructivos**  
Fuente: Elaboración Propia basado en EC3 SUSTAINABILITY.

En la simulaciones realizadas anteriormente se puede determinar que las estructuras realizadas con tableros derivados de la madera son significativamente inferiores ya que no llegan a los 500 Kg de CO2 por cada metro cúbico de estructura, en comparación, los tableros derivados de la madera representan una sexta parte del impacto ambiental que produce el acero.

### 3.2 HUELLA HÍDRICA EN TABLEROS DERIVADOS DE LA MADERA

Los siguientes resultados están basados en un método aplicado al peso de la estructura y al factor máximo de consumo usado en ésta investigación.

Las magnitudes utilizadas para los resultados son litros por cada kilogramo de material usado en el prototipo estudiado.

Tabla. Consumo de huella hídrica por material.

MATERIAL	PESO ESPECÍFICO (KG)	PESO ESTRUCTURA (kg)	FACTOR l/kg	HUELLA HÍDRICA (litros)
MDF	27,51	522,69	1310	684723,9
OSB	25,30	480,7	1310	629717
PLYWOOD	18,00	342	1310	448020

Fuente: Elaboración propia basado en Gutiérrez,2022.

En la tabla anterior se puede observar los valores arrojados en base al peso y al tipo de material utilizado en la vivienda prototipo mencionada anteriormente, los valores de resultado se expresan en litros, es así que, el valor más bajo, lo tiene el prototipo elaborado en el material de plywood, con un valor de 448020 litros de agua consumidos.

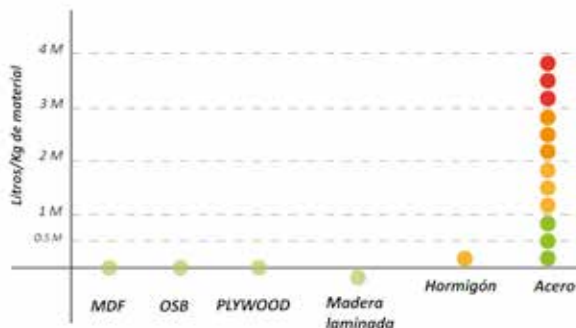
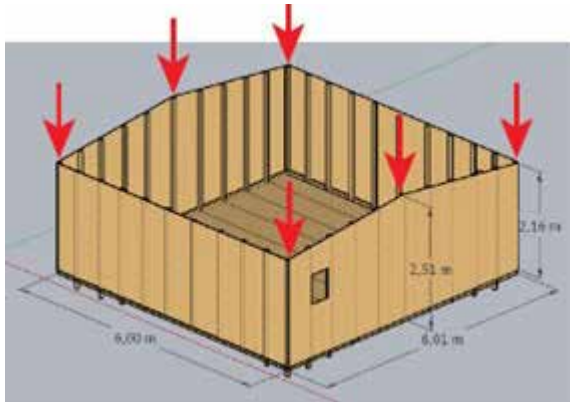


Fig. Comparación del consumo de agua en diferentes sistemas constructivos

Fuente: Elaboración Propia basado en Universidad Autónoma de Madrid.

En la figura anterior se puede apreciar el consumo de agua en los diferentes sistemas constructivos, cabe mencionar que el sistema de tableros derivados de madera no sobrepasa el medio millón de litros de agua, mientras que el sistema constructivo de madera laminada produce una huella hídrica no representativa, es decir, la medida de la madera laminada es despreciable.

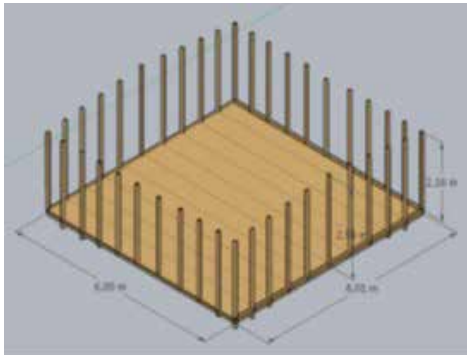
### 3.3 EFICIENCIA ESTRUCTURAL EN TABLEROS DERIVADOS DE LA MADERA



**Fig. Cargas verticales sobre el prototipo MIDUVI**

Fuente: *Elaboración Propia basado en Ministerio de desarrollo y vivienda del Ecuador*

Para ésta simulación se han tomado las cargas verticales como cargas principales, despreciando la carga de sismo ya que el prototipo únicamente posee planta baja y cubierta, cómo se observa en la figura anterior.



**Fig. Sistema de pies derechos o arriostramiento del prototipo MIDUVI**

Fuente: *Elaboración propia basado en Ministerio de desarrollo y vivienda del Ecuador*

**Tabla. Cálculo de desplazamiento bajo cargas por material.**

MATERIAL	PESO ESPECIFICO (KG)	MODULO DE RUPTURA (kg/m <sup>2</sup> )	TIPO DE CARGA	FACTOR (N/cm <sup>2</sup> )	CARGA (kg)	DESPLAZAMIENTO (mm)
MDF	27,51	189	VIVIENDA	2	5000	2,56
OSB	25,30	220	VIVIENDA	2	5000	1,53
PLYWOOD	18,00	370	VIVIENDA	2	5000	1,03

Fuente: *Elaboración propia basado en Lomagno 2001.*

En la tabla anterior se puede apreciar los factores tomados en cuenta para hallar la resistencia de los materiales bajo la carga residencial de vivienda proporcionada por la NEC (Norma Ecuatoriana de la Construcción).

El tipo de carga aplicada es de 5000kg, el material que menor desplazamiento tiene es el tablero de PLYWOOD, ya que , con la carga aplicada apenas se desplaza 1,00 mm, es decir que, las propiedades mecánicas del plywood son mejores y más aptas para soportar el módulo de vivienda propuesto.

**Tabla. Cálculo de desplazamiento bajo cargas por material.**



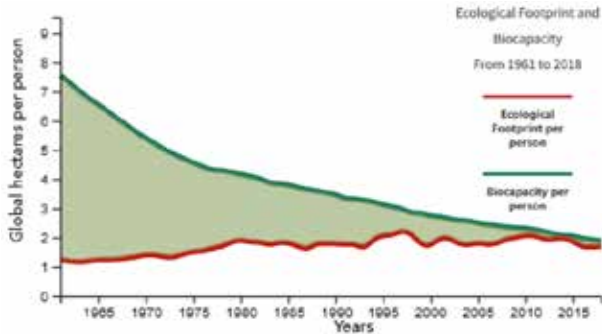
Fuente: *Elaboración propia basado en Lomagno 2001.*

Como se puede observar anteriormente, el módulo de ruptura del plywood es el más alto de todos los tableros derivados de la madera, acercándose a los 400 kg/m<sup>2</sup>.

### 3.4 BIOCAPACIDAD EN EL CONTEXTO ECUATORIANO

Para calcular la biocapacidad en el contexto ecuatoriano, se toman en cuenta distintos factores anteriormente mencionados, éste calculo ha siudo anteriormente simulado por organismos internacionales, el resultado es el siguiente.

Tabla. Consumo de hectáreas por persona.



Fuente: National Footprint and Biocapacity, 2018.

Tabla. Calculo de la biocapacidad en Ecuador.

BIOCAPACIDAD / PERSONA	HUELLA ECOLÓGICA / PERSONA	BIOCAPACIDAD
1.9 gha	1,7 gha	0,2 gha

Fuente: Elaboración propia basado en Global Footprint, biocapacity.

Como se observa anteriormente, la diferencia entre la biocapacidad por persona y la huella ecologica por persona, da como resultado un numero positivo, es decir que, en el contexto ecuatoriano, los recursos están por encima del consumo de la población.

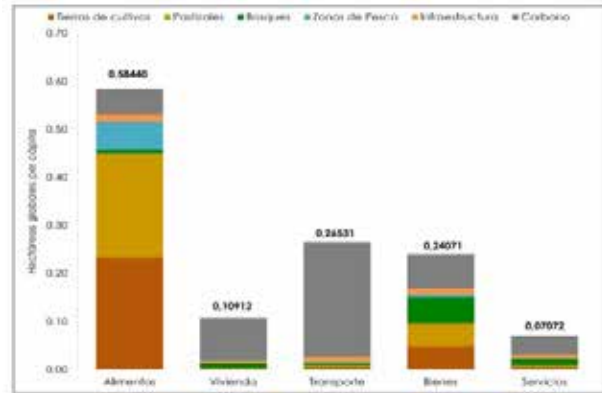


Fig. Distribución de la Huella Ecológica asociada al consumo de hogares

Fuente: Ministerio del Ambiente, huella ecológica.

En la figura anterior se puede apreciar el consumo de hectareas per cápita de las diferentes actividades humanas haciendo incapié en las actividades alimentarias que son las que más consumen la capacidad del territorio.



### 3.5 NIVEL DE ACEPTACIÓN DEL CONSUMIDOR

Este estudio se ha basado en 4 preguntas dirigidas a los consumidores de vivienda en el contexto ecuatoriano, el formato de encuesta se lo puede encontrar en los anexos del presente documento.

Las preguntas son las siguientes:

- ¿Bajo que condiciones usted desearía vivir?
- En que medida está usted de acuerdo con la siguiente afirmación, La madera como principal material de construcción.
- En su opinión, ¿Cree usted que la madera tiene ventajas sobre los otros materiales de construcción.
- ¿Conoce usted el sistema constructivo con tableros de madera?

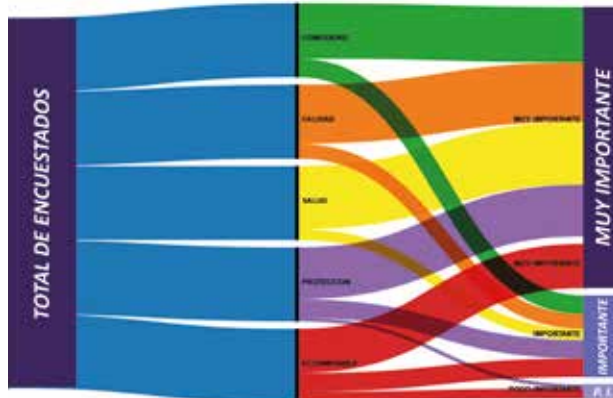


Fig. ¿Bajo que condiciones usted desearía vivir?

Fuente: Elaboración propia

En el diagrama anterior, la mayoría de los consumidores dijeron que es muy importante la comodidad, calidad, salud, protección, ecoamistad, como condiciones de vida.



Fig. En que medida está usted de acuerdo con la siguiente afirmación, La madera como principal material de construcción.

Fuente: Elaboración propia

En el diagrama anterior más del 50% de los consumidores encuestados están de acuerdo con el enunciado.

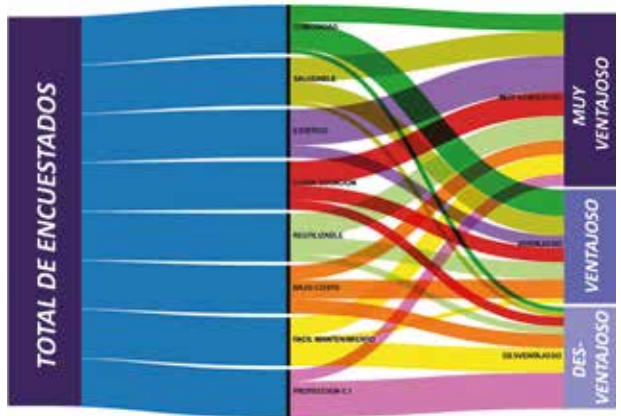
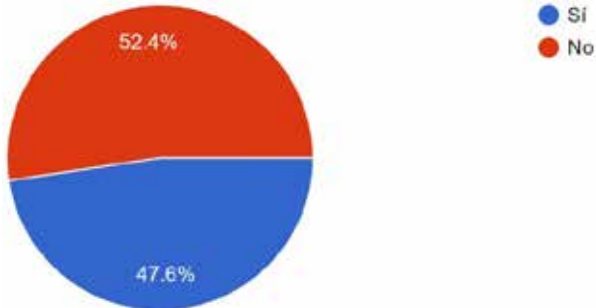


Fig. En su opinión, ¿Cree usted que la madera tiene ventajas sobre los otros materiales de construcción.

Fuente: Elaboración propia

En el diagrama anterior se puede observar que el 75% de los consumidores encuestados describen a la madera como un sistema constructivo ventajoso y muy ventajoso sobre los otros materiales de construcción.

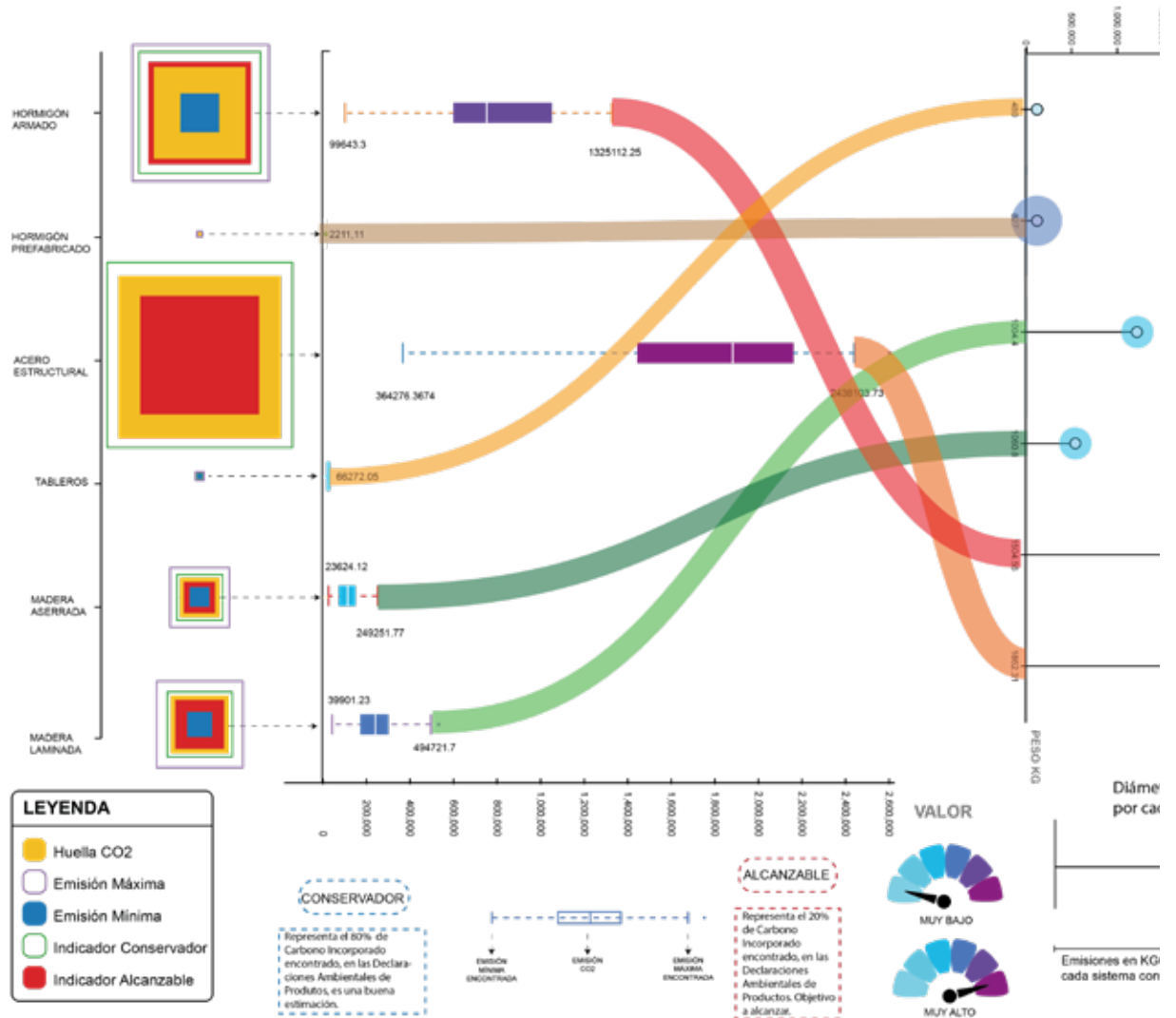


**Fig. Conoce usted el sistema constructivo de tableros de madera.**

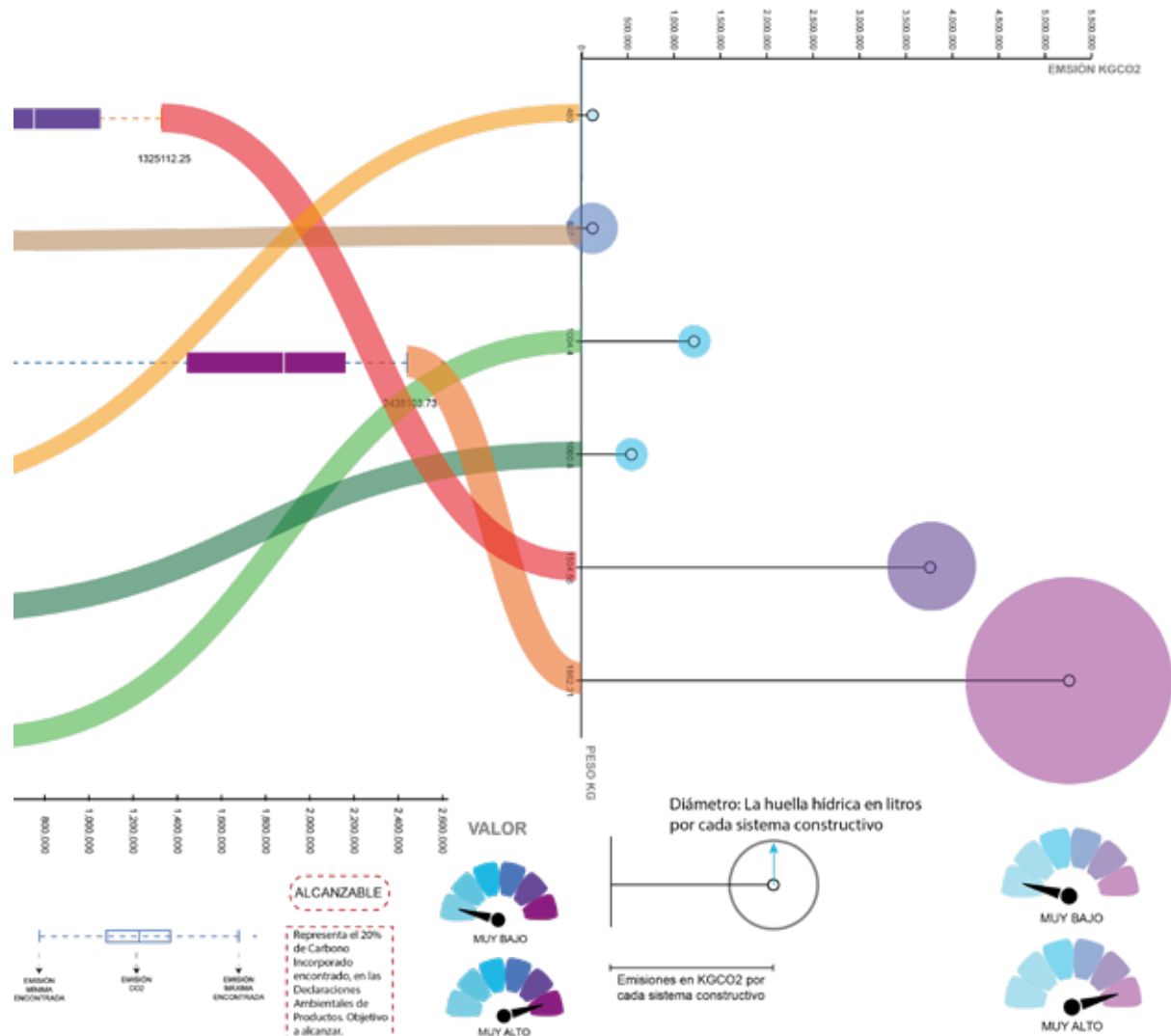
*Fuente: Elaboración propia*

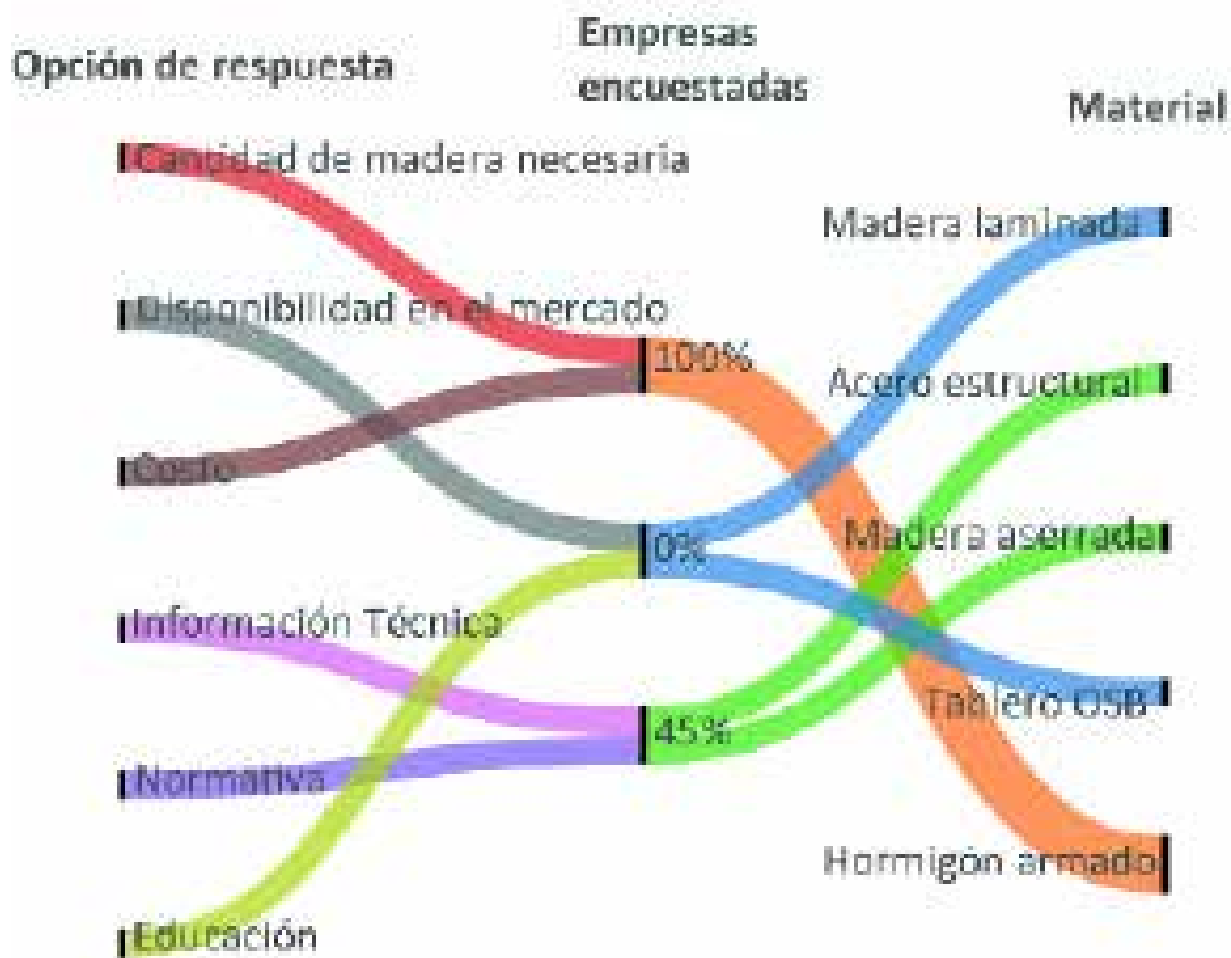
El 47.6% de personas encuestadas conocen el sistema constructivo de tableros de madera.

# HUELLA DE CARBONO + HUELLA HÍD

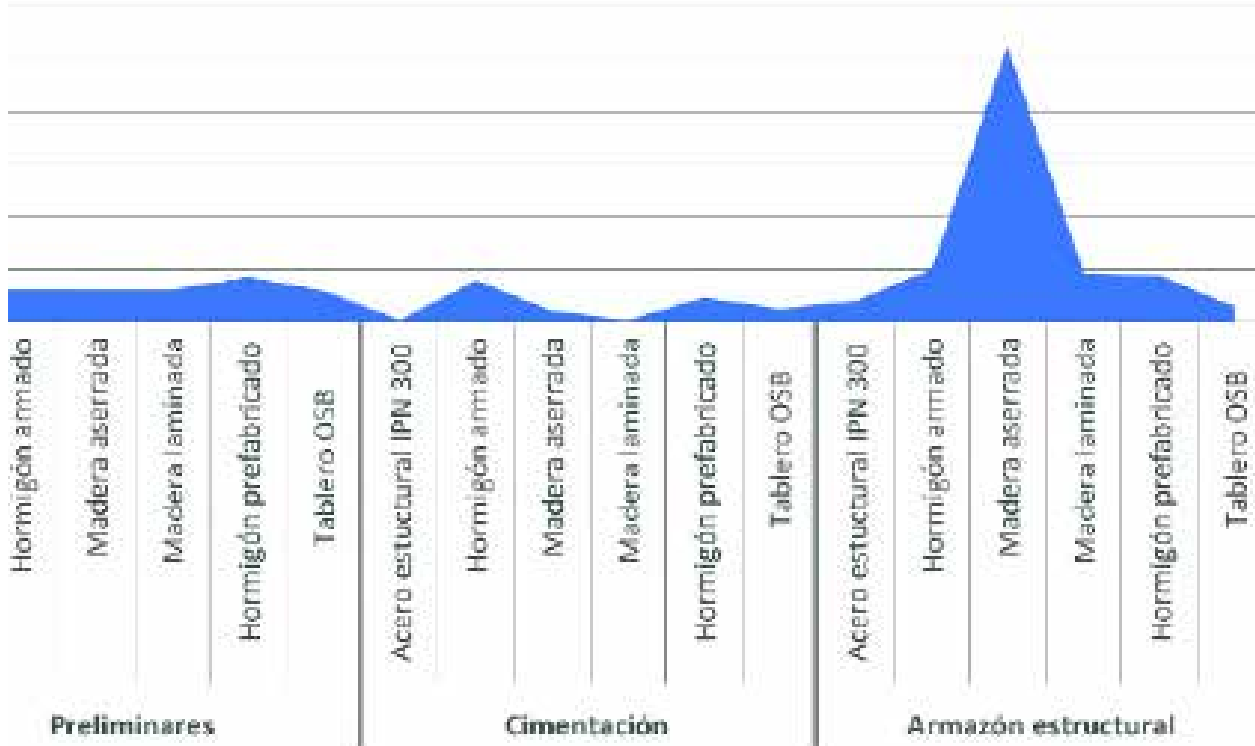


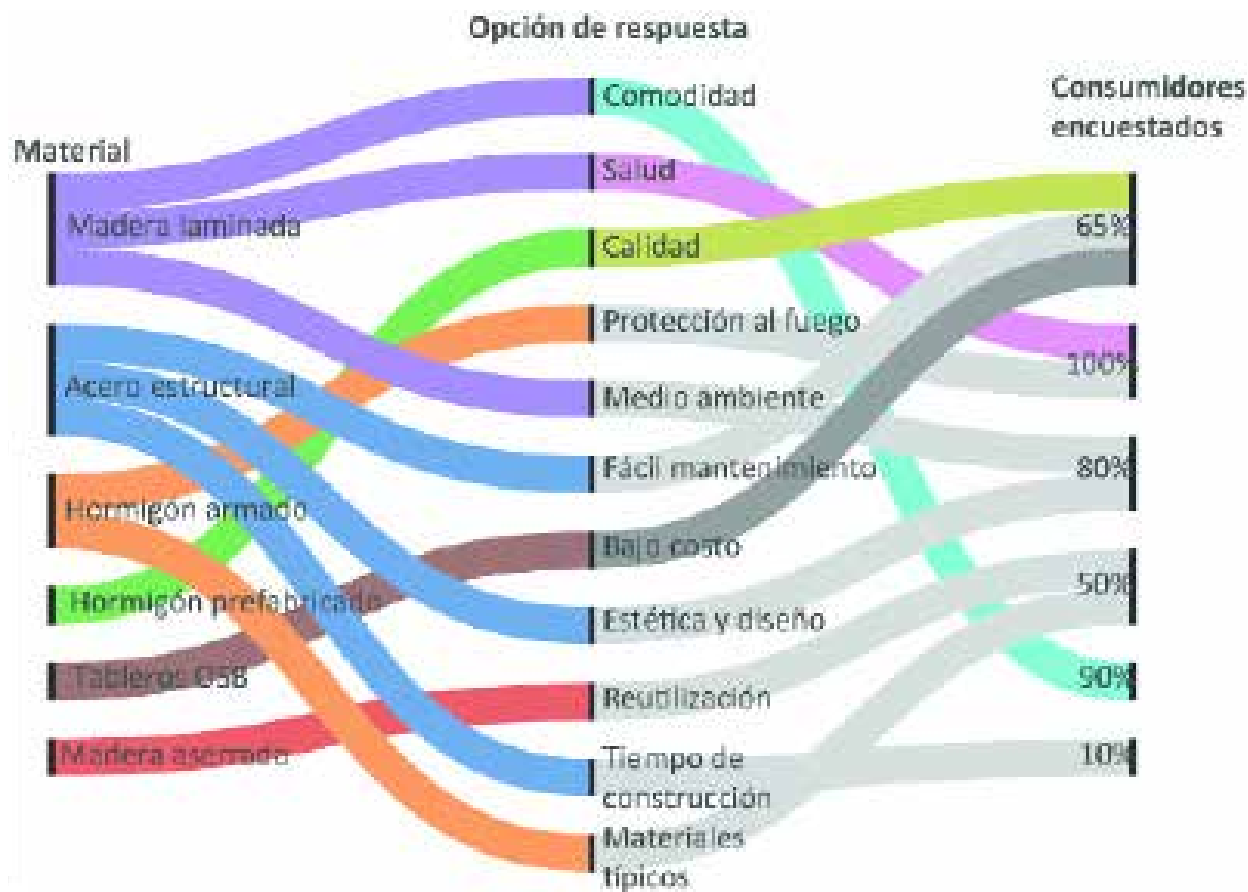
# ANÁLISIS DE CARBONO + HUELLA HÍDRICA





## Costo





### 3.6 REFLEXIONES FINALES

Con los resultados obtenidos anteriormente, se ha podido apreciar que es factible construir con tableros derivados de la madera en el contexto ecuatoriano, no está por demás decir que, el sector de la construcción es la principal fuente de emisiones de gases de efecto invernadero. Los tableros derivados de la madera en todas las clasificaciones estudiadas anteriormente reducen en un 75% la cantidad de carbono producido en su fabricación, construcción y eliminación.

El agua es un recurso que se debe mitigar en los procesos constructivos, es así que, la huella hídrica utilizada en el sistema de paneles es sustancialmente baja, ya que estamos hablando de 1310 litros por kg de peso, en comparación con la huella hídrica del cemento que es aproximadamente 2600 litros por kg de peso, despreciando el agua ocupada en la producción de áridos para formar el hormigón.

En cuanto a la resistencia estructural de los tableros derivados de la madera, se ha demostrado que los tableros son capaces de soportar cargas de vivienda exigidas por la norma ecuatoriana de la construcción, en Latinoamérica, Chile referente en la validación de la madera y sus derivados como sistema constructivo residencial.

En este estudio, se ha encuestado a una pequeña muestra de la población, las cuales han aportado datos significativos para esta investigación, el nivel de aceptación es bajo pero no inexistente, es decir que talvez por cuestiones ideológicas o limitaciones en el conocimiento y la practica de este sistema constructivo se ha optado por la construcción tradicional, es decir, bloque y hormigón. Existen otras limitaciones que se han podido recoger a lo largo de este trabajo académico, las cuales son las limitaciones técnicas, es decir, no existe una normativa aprobada para construcciones con paneles derivados de madera, este estudio se ha fundamentado en exigencias

americanas y chilenas de calidad para viviendas residenciales.

Para terminar, se debe concientizar a la población que los recursos del Ecuador son finitos, y, además de, lo demostrado anteriormente en operaciones matemáticas, tablas, gráficos, encuestas, se debe pensar en la vulnerabilidad de nuestras ciudades y promover estrategias técnicas, sociales y ambientales para mitigar los efectos negativos en torno al impacto ambiental en el contexto



### 3.7 RECOMENDACIONES

A lo largo de esta investigación, se ha podido determinar las características constructivas de los tableros derivados de la madera, así como sus limitaciones, que se han observado a lo largo de éste estudio. El desconocimiento de las tecnologías constructivas son el principal problema que afecta el uso de la madera en la construcción, seguido por las limitaciones.

En el ámbito normativo, ya que, en la normativa ecuatoriana de la construcción (NEC), se evidencia una completa carencia de instrumentos de control y aprobación para edificaciones de tableros derivados de la madera.

Los proveedores de madera y sus derivados en Ecuador, no promocionan las características y bondades constructivas de los tableros derivados de la madera. A pesar que, en el entorno de Quito existe disponibilidad de éste material, no es una opción para llegar a edificar, sino mas bien, los tableros derivados de la madera son requeridos para trabajos de carpintería, modulares, muebles, así desvalorizando un material con bondades estéticas, económicas, constructivas y sobre todo, con un bajo impacto ambiental.

## BIBLIOGRAFIA

- Acosta, D. (2009). Arquitectura y construcción sostenibles. Concepto, problemas y estrategias, 21-21. 4). Madrid: AENOR.
- Amórtegui, L. A., Vega, D. G., & Rojas, H. R. (2016). Huella hídrica: análisis como instrumento estratégico de gestión para el aprovechamiento eficiente de los recursos hídricos. *Ciencia Nicolaita*, 69.
- Andrade, K., & Défaz, S. (2016). Quito: Ministerio del Ambiente del Ecuador. Reporte de la Huella Ecológica Nacional y Sectorial del Ecuador - Año 2013.
- Arriaga, F., & AITIM, A. (1995). Eficacia estructural y energética de la madera como material de construcción. *El arquitecto*.
- Baldó, J., & Villanueva, F. (1998). Un plan para los barrios de Caracas. Consejo Nacional de la Vivienda. En D. Acosta, *Arquitectura y construcción sostenibles* (pág. 19). Bogotá: CONAVI.
- BBC News Mundo. (9 de Agosto de 2021). 5 revelaciones del preocupante informe de la ONU sobre cambio climático. Obtenido de <https://www.bbc.com/mundo/noticias-58152731>
- BIN, G., & PARKER, P. (2012). Measuring buildings for sustainability: Comparing the initial and retrofit ecological footprint of a century home – The REEP House. *Applied Energy*(93), 24-32.
- BMVEL. (2009). Ministerio Federal alemán de Protección del Consumidor, Alimentación y Agricultura. Uso mejorado de la madera - a favor del clima, la calidad de vida, las innovaciones y el empleo - carta de la madera, 303-309.
- Bryman, A. (2004). Oxford: Oxford University Press. *Métodos de investigación social*.
- Bustreo, F. (27 de 09 de 2016). OMS. Obtenido de [https://www.infosalus.com/salud-investigacion/noticia-92-poblacion-mundial-respira-aire-contaminado-20160927105208.html?\\_gl=1\\*7gq03j\\*\\_ga\\*NjkyMjk1MzA1LjE2Njc2ODU1MDM.\\*\\_ga\\_2HWC8HS3FS\\*MTY2NzY4NTUwMy4xLjEuMTY2NzY4NTUzOC4yNS4wLjA](https://www.infosalus.com/salud-investigacion/noticia-92-poblacion-mundial-respira-aire-contaminado-20160927105208.html?_gl=1*7gq03j*_ga*NjkyMjk1MzA1LjE2Njc2ODU1MDM.*_ga_2HWC8HS3FS*MTY2NzY4NTUwMy4xLjEuMTY2NzY4NTUzOC4yNS4wLjA).
- Calero, R. (2015). Tesis universitaria. “COMPARACIÓN DE LOS MÉTODOS A.P.U. Y COSTEO ABC PARA EL ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS EN LA CONSTRUCCIÓN”.
- Cámara de la construcción de Quito. (2001). *CAMBIO GLOBAL ESPAÑA 2020/50*. (2010). Sector edificación. Programa Cambio Global España 2020/50 del Centro Complutense de Estudios e Información Medioambiental de la Fundación General de la Universidad Complutense de Madrid.
- Cedeño Valarezo, A. (2013). La madera, ¿Una alternativa para proteger el medio ambiente? En C. Eligio Triana (Ed.), *Revista de Arquitectura* (Vol. 15, pág. 112). Bogota.
- Cedeño Valdiviezo, A. (2010). Materiales Bioclimáticos. *Revista de Arquitectura*, 100-110.
- Chan Martín, M., Araujo Molina, O., Azueta García, M., & Solís Rodríguez, L. (2004). Ingeniería. *Tableros de madera de partículas*, 39-46.
- Chapagain, A., & Tickner, D. (2012). “Water footprint: Help or hindrance?”. *Water Alternatives*, 5(3), 563-581.
- Checa, J. (1997). Quito: Andina. *Contabilidad de Costo*.
- Chow, P., McNatt, J., Janowiak, J., & Gertner, G. (1985). Forest product. Conditions on lateral nail and staple resistance of wood-based panel materials effects of test methods and exposure, 13-19.
- Cruz González, M. (2017). Análisis y evaluación de la huella hídrica de un cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum*) en el municipio de

- Fómeque departamento de Cundinamarca.  
de Campos, C., & Rocco Lahr, F. (2004). CARACTERIZACIÓN DEL MDF PRODUCIDO A PARTIR DE EUCALIPTO Y ADHESIVO POLIURETANO NATURAL (Vol. 1). doi: <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-221X2004000100006>
- Di Rienzo, M. (2017). Aportes a la gestión de la huella hídrica en la producción de carnes de cerdo: evaluación del uso del agua en un criadero intensivo.
- Drywall. (18 de 02 de 2020). Características y usos de los tableros OSB. Obtenido de <https://drywall-sa.com.ar/2020/02/18/caracteristicas-y-usos-de-los-tableros-osb/>
- Echenique. (1993). Ciencia y tecnología de la madera II.
- Edwards. (1996). En C. ZÚÑIGA CHACÓN, "ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE EL REVESTIMIENTO DEL SISTEMA EIFS CON REVESTIMIENTO DE TABLEROS OSB".
- Emedec S.L. (2022). mdec, madera de profesionales. Obtenido de <https://www.emedec.com/madera-certificada-que-es-y-por-que-es-importante/>
- Espíndola, C., & Valderrama, J. (2011). Huella del Carbono. Parte 1: Conceptos, Métodos de Estimación y Complejidades Metodológicas. Información Tecnológica, 23(1). doi:10.4067/S0718-07642012000100017
- Estévez, P. (2012). Desarrollo, caracterización y optimización de resinas base urea-formol, como adhesivos para tableros aglomerados con baja emisión de formaldehído. Burgos.
- Evans, J., & De Schiller, S. (1991). Diseño bioambiental y arquitectura solar.
- FAO. (s.f.). Obtenido de Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura: <https://www.fao.org/3/30164s/30164s05.htm>
- FILIO REYNOSO, O. (2016). PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN DE UNA CASA DE MADERA TIPO. Fleming, P. (s.f.).
- Fritz, A., & Ubilla, M. (2012). Manual de diseño. Construcción, montaje y aplicación de envoltentes para la vivienda de madera.
- FRITZ EGGER GmbH & Co. OG. (2020). Construcción sostenible y vida saludable gracias a los productos derivados de la madera Egger. Holzwerkstoffe: FRITZ EGGER GmbH & Co. OG.
- Fuertes, H. (1983). Cuadernos de construcción, n°5. En Olivares Santiago, & J. Laffarga Osteret, Reseña histórica de los materiales de construcción (págs. 19-30). Sevilla.
- Gartner, E. (2004). Cement and Concrete Research. Industrially interesting approaches to "low-CO2" cements.
- Gold, S., & Rubik, F. (2009). Journal of Cleaner Production. Actitudes de los consumidores hacia la madera como material de construcción y hacia las casas de entramado de madera - resultados seleccionados de una encuesta representativa entre la población alemana.
- Gold, S., Jersak, H., & Rubik, F. (2007). Heidelberg: Zufo-Arbeitsbericht 11. La madera desde la perspectiva del consumidor - resultados de una encuesta representativa.
- González Couret, D. (s.f.). Desarrollo sustentable y medio ambiente construido. En A. Cedeño, Revista de arquitectura (Vol. 12, pág. 102). Bogotá.
- GRUPO SIERO. (06 de 07 de 2022). Tableros OSB: El aliado perfecto para la construcción. Obtenido de <https://www.sierolam.com/blog/tableros-osb-el-aliado-perfecto-para-la-construccion/>
- Gustavsson, L., Pingoung, K., & Sathre, R. (2006). Balance de dióxido de carbono de la sustitución de la madera. Comparación de edificios con es

- estructura de hormigón y madera, 667-691.
- Habitat, O. N. U. (2012). ESTADO DE LAS CIUDADES DE AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE. Nairobi: UN Habitat: Nairobi.
- Hernández Sampieri, R. (2014). Metodología de la investigación. México D.F.: McGRAW-HILL / INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.
- Hillis , & Brown. (1998).
- Hoekstra , A., Chapagain , A., Aldaya, M., & Mekonnen , M. (2011). "The water footprint assessment manual: Setting the global. Earthscan.
- Hoekstra. (2003).
- Hoekstra, A., Chapagain, A., Aldaya, M., & Mekonnen, M. (2010). Manual de Evaluación de la huella hídrica.
- Holokiz. (1971).  
[https://buildingtransparency-live-87c7ea3ad4714-809eeaa.divio-media.com/filer\\_public/57/e4/57e42fed-8e5f-4ac6-aaed-8534e27238a8/ec3-user-benefits.pdf](https://buildingtransparency-live-87c7ea3ad4714-809eeaa.divio-media.com/filer_public/57/e4/57e42fed-8e5f-4ac6-aaed-8534e27238a8/ec3-user-benefits.pdf). (s.f.).  
<https://edimca.com.ec/blogs/usos-beneficios-plywood.html>. (s.f.).  
<https://fibralab.cl/procesos-transformacion-aserraderos-remanufactura-y-plywood/>. (s.f.).  
[https://www.researchgate.net/figure/a-Photograph-of-the-plywood-compression-specimen-and-b-schematic-diagram-of-the-plywood\\_fig1\\_340675441](https://www.researchgate.net/figure/a-Photograph-of-the-plywood-compression-specimen-and-b-schematic-diagram-of-the-plywood_fig1_340675441). (s.f.).
- Jara, M. (2015). Comparación de la Huella de Carbono en la construcción de edificaciones de hormigón armado y madera sólida contralaminada. Concepción, Chile: Universidad del Bio-Bio.
- Kostof. (1988). En V. Jiménez, La madera como elemento clave en la certificación Passivhaus.
- Li, B., & CHENG, D.-J. (2010). Hotel ecological footprint model: Its construction and application. Chinese Journal of Ecology(29), 1463-1468.
- Lomagno, J. (2001). Desarrollo de un Panel Estructural Prefabricado Incorporando Tableros de Hoje las Orientadas (OSB). Maderas. Ciencia y tecnología.
- Maloney. (1996).
- Manzini, E., & Bigues, J. (2000). Ecología y democracia: de la injusticia ecológica a la democracia ambiental (Vol. 25). Icaria.
- Maquituls. (2022). Maquituls. Obtenido de La madera está viva; trabájala de forma correcta.: <https://www.maquituls.es/noticias/la-madera-esta-viva-trabajala-de-forma-correcta/>
- McDonough, W., & Braungart, M. (2003). Cradle to Cradle (de la cuna a la cuna). Rediseñando la forma en que hacemos las cosas. En D. Acosta , Arquitectura y construcción sostenibles (pág. 98).
- Mercader, M. (2010). Cuantificación de los recursos consumidos y emisiones de CO2 producidas en las construcciones de Andalucía y sus implicaciones en el protocolo de Kioto. (U. d. Sevilla, Ed.) España. Obtenido de <http://fondosdigitales.us.es/tesis/tesis/1256/cuantificacion-de-los-recursos-consumidos-y-emisiones-de-co2-producidas-en-las-de-los-recursos-consumidos-y-emisiones-de-co2-producidas-en-las-de-los-recursos-consumidos-y-emisiones-de-co2-producidas-en-lascons>
- Mundo Constructor. (2016).
- NCh801, I. (2003). Elementos de construcción-Panels-Ensayo de compresión. Norma Chilena Oficial Santiago de Chile.
- Norma Ecuatoriana de la Construcción. (2016). Guía práctica para el diseño de estructuras de madera. Guia de diseño.
- OLGYAY, V. (2008). Greenfoot: A tool for estimating the carbon and ecological footprint of buildings. American Solar Energy Society - SOLAR 2008. 3rd Renewable Energy Policy and Marketing Conf.: Catch the Clean Energy Wave 8, 5058-

- 5062.
- Oliva, A. (1984). La madera en la construcción. Informes de la Construcción, 5-28.
- Olivares Santiago, M., & Laffarga Osteret, J. (1997). Reseña histórica de los materiales de construcción. OSB TECHNOLOGY. (2002).
- PADT - REFORT. (1984). En T. d. partículas, Ingeniería.
- Pandey, D., Agrawal, & Pandey, J. (2010). Carbon footprint: current methods of estimation. Environmental Monitoring and Assessment, 135-160.
- Peralta, B., & Yunis, N. (2022). Reciclaje Urbano. Una herramienta para enfrentar la "nueva" casa habitacional, 118-127.
- Peraza, C. (1984). La madera ¿Una alternativa para proteger el medioambiente? En A. Cedeño Valarezo, Revista de Arquitectura (Vol. 15, pág. 113). Bogotá.
- Pranda. (1995). processing-wood.com. (2018). Asesoramiento tecnológico para la industria de la madera. Obtenido de <https://processing-wood.com/es/procesos/tableros/osb/>
- Puettmann Maureen, E., & Wilson James, B. (2005). Life-cycle analysis of wood products: cradle-to-gate LCI of residential wood building materials. Wood Fiber Sci.
- Rayburn, L. (1988). España: Ediciones Centrum Técnicas. Contabilidad de Costos I, 14.
- Rees, W., & Wackernagel, M. (2001). Nuestra huella ecológica: reduciendo el impacto humano sobre la Tierra. Santiago de Chile: Editores independientes.
- Reyes, B., & Scarlen, M. (2017). Análisis comparativo de sistemas constructivos pesados vs ligeros, mediante herramientas LCA-BIM, en el contexto caribeño, República Dominicana.
- Rivero Camacho, C. (2020). Estudio de huellas en el ciclo de vida del edificio residencial. (Tesis Doctoral Inédita). Sevilla.
- Roosener, L. (2001). Tesis de diploma. Hamburg: Universidad de Hamburgo. Tipificación de compradores de casas de entramado de madera.
- Rocha Tamayo, E. (2011). Construcciones sostenibles: materiales, certificaciones y LCA. Revista Nodo, 6, 99-106.
- SAMADPOUR, P., & FARYADI, S. (2008). Determination of ecological footprint of dense and high-rise districts, case study of Elahie neighbourhood, Tehran. Journal of Environmental Studies, 45(34), 63-72.
- Schaeffler Automotive Aftermarket Mexico, S. de R.L. de C.V. (s.f.). [https://www.schaeffler.mx/es/products-and-solutions/industria/soluciones-sectoriales/materias-primas/extraccion\\_proceso\\_materias-primas/](https://www.schaeffler.mx/es/products-and-solutions/industria/soluciones-sectoriales/materias-primas/extraccion_proceso_materias-primas/). Recuperado el 5 de 11 de 2022, de [https://www.schaeffler.mx/es/products-and-solutions/industria/soluciones-sectoriales/materias-primas/extraccion\\_proceso\\_materias-primas/](https://www.schaeffler.mx/es/products-and-solutions/industria/soluciones-sectoriales/materias-primas/extraccion_proceso_materias-primas/)
- Schweizer, D., Meli, P., Brancalion, P., & Guariguata, M. (2018). Oportunidades y desafíos para la gobernanza de la restauración del paisaje forestal en América Latina (Vol. 182). Cifor.
- Schyns, J., Booij, M., & Hoekstra, A. (2017). Advances in Water Resources. "The water footprint of wood for lumber, pulp, paper, fuel and firewood", 490-501.
- Skullestad, J., Bohne, R., & Lohne, J. (2016). High-Rise Timber Buildings as a Climate Change Mitigation Measure - A Comparative LCA of Structural System Alternatives. Energy Procedia.
- Swedish Forest Industries Federation. (2016). Design of timber structures (2 ed., Vol. 1). (E. Borgström, Ed.) Stockholm.
- Torres-Carrasco, M., & Puertas, F. (2017). Revista de Ingeniería y construcción. Alkaline activation of different aluminosilicates as an alternative to

- Portland cement, 32, 5-12.
- United Nations Environment Programme. (2007). United Nations Environment Programme. Nairobi: United Nations Environment Programme.
- United Nations, D. o. (2019). World Population Prospects 2019: Highlights (ST/ESA/SER.A/423).
- Universidad Autónoma de Madrid. (2019). Estimación de la huella hídrica de una promoción residencial. Sostenibilidad ambiental para la edificación residencial.
- Van Oel, P., & Hoekstra, A. (2010). Value of Water Research Report series no. 46. UNESCO-IHE, Institute for Water Education, Delft, The. "The green and blue water footprint of paper products: methodological considerations.
- Velasteguí, A., & Chiliquinga, L. (2018). ANÁLISIS TEÓRICO Y EXPLORACIÓN DE DESARROLLO SUSTENTABLE.
- World Economic Forum Marsh and McLennan and Zurich Insurance Group. (Enero de 2020). World Economic Forum. "The Global Risks Report 2020", págs. 29-37.
- www.apawood.org. (s.f.). Obtenido de www.apawood.org
- Younquist. (1998).
- Zanuttini, R. (2003). Filiera foresta-legno e valorizzazione energetica delle biomasse forestali Wood energy chain studies. Obtenido de <http://www.for.tea.eu/file/filiera.pdf> Unterent. Ex nos verter fecta vilius, que nem fo111re co.
- ZHAO, Xueyan y, M., & Xiaowen. (2013). Comparison environmental impact of the peasant household in han, zang and hui nationality region: Case of zhangye, Gannan and Linxia in Gansu Province. Shengtai Xuebao/Acta Ecologica Sinica, 33(17), 5397-5406.
- ZÚÑIGA CHACÓN, C. (2010). "ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE EL. Valdivia.





Quito, 2023