

UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

**FACULTAD DE ARQUITECTURA Y DISEÑO
CARRERA DE ARQUITECTURA**

TEMA:

Paneles de madera contralaminada CLT con maderas residuales
de la provincia del Guayas

AUTOR (ES):

Alex Eduardo Arias Zalamea
Pedro Andres Mantilla Avalos
Daniel Alejandro Veintimilla Muñoz

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de
Arquitecto**

TUTOR (ES):

Arq. Vega Jaramillo, Robinson Danilo; Mgs.
Arq. Forero Fuentes, Boris Andrei; Mgs

**Guayaquil, Ecuador
08 de septiembre del 2023**



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

**FACULTAD DE ARQUITECTURA Y DISEÑO
CARRERA DE ARQUITECTURA**

CERTIFICACIÓN 1

Certificamos que el presente trabajo de titulación, fue realizado en su totalidad por Alex Eduardo Arias Zalamea como requerimiento para la obtención del título de Arquitecto.

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de
Arquitecto

TUTOR (ES):



Firmado electrónicamente por:
**BORIS ANDREI FORERO
FUENTES**

f. _____
Arq. Forero Fuentes, Boris Andrei; Mgs

DIRECTOR DE CARRERA

f. _____
Arq. Chunga de la Torre, Félix Eduardo; M.Sc

Guayaquil al día 08 del mes de septiembre del año 2023



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

**FACULTAD DE ARQUITECTURA Y DISEÑO
CARRERA DE ARQUITECTURA**

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD 1

Yo, Alex Eduardo Arias Zalamea

DECLARO QUE:

El Trabajo de Titulación, Paneles de madera contralaminada CLT con maderas residuales de la provincia del Guayas previo a la obtención del título de Arquitecto, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de nuestra total autoría.

En virtud de esta declaración, nos responsabilizamos del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

Guayaquil al día 08 del mes de septiembre del año 2023

EL AUTOR:

f. 
Alex Eduardo Arias Zalamea



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

**FACULTAD DE ARQUITECTURA Y DISEÑO
CARRERA DE ARQUITECTURA**

AUTORIZACIÓN 1

Yo, Alex Eduardo Arias Zalamea

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil a la publicación en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación, Paneles de madera contralaminada CLT con maderas residuales de la provincia del Guayas, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil al día 08 del mes de septiembre del año 2023

EL AUTOR:

f. 

Alex Eduardo Arias Zalamea

ARIAS.ALEX.TESIS

< 1% **Similitudes** 2% **Texto entre comillas**
0% **similitudes entre comillas**
3% **Idioma no reconocido**

Nombre del documento: ARIAS.ALEX.TESIS.pdf
ID del documento: e1d1b1530039a358646baf1ab29294d50b4ccd2c
Tamaño del documento original: 29,29 MB

Depositante: Boris Andrei Forero Fuentes
Fecha de depósito: 6/9/2023
Tipo de carga: interface
fecha de fin de análisis: 6/9/2023

Número de palabras: 47.152
Número de caracteres: 324.751

Ubicación de las similitudes en el documento:



Fuentes principales detectadas

Nº	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	Prototipo de CLT con especies maderables del cantón naranjal - JHONNY... #f54b71 El documento proviene de mi biblioteca de referencias 3 fuentes similares	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (316 palabras)
2	rua.ua.es https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/48919/1/Valoracion_comparativa_de_la_ecoeficiencia_de_...	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (203 palabras)
3	TEXTO_OLAYA_CHUQUICUSMA.docx TEXTO_OLAYA_CHUQUICUSMA #6c6b73 El documento proviene de mi grupo	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (150 palabras)
4	es.slideshare.net 11.-NEC-SE-MD-Estructuras-Madera.pdf https://es.slideshare.net/CarlosAvear21/11necsemdeestructurasmaderapdf/11.-NEC-SE-MD-Estruct... 4 fuentes similares	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (164 palabras)
5	online.portoviejo.gob.ec https://online.portoviejo.gob.ec/docs/nec8.pdf 2 fuentes similares	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (157 palabras)

Fuentes con similitudes fortuitas

Nº	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	www.agricultura.gob.ec Proyecto de Reforestación promueve desarrollo mader... https://www.agricultura.gob.ec/proyecto-de-reforestacion-promueve-desarrollo-maderero-del-pais/	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (40 palabras)
2	repositorio.espe.edu.ec Tableros estructurales tipo sándwich compuestos de me... http://repositorio.espe.edu.ec:8080/bitstream/21000/15845/5/T-ESPE-040765.pdf.txt	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (39 palabras)
3	econpapers.repec.org EconPapers: The Global Cross-Laminated Timber (CLT) Ind... https://econpapers.repec.org/RePEc:gam:jstava:15y:2023:i:10:p:7827-d:1143737	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (34 palabras)
4	dspace.esPOCH.edu.ec http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/10754/1/33T0219.pdf	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (26 palabras)
5	dspace.esPOCH.edu.ec Evaluación, Caracterización y Aprovechamiento del Hongo ... http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/2007/3/236T0060.pdf.txt	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (22 palabras)

Fuente ignorada Estas fuentes han sido retiradas del cálculo del porcentaje de similitud por el propietario del documento.

Nº	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	MANTILLA.PEDRO VEINTIMILLA.DANIEL.TESIS.pdf MANTILLA.PEDRO VEI... #40853c El documento proviene de mi grupo	100%		Palabras idénticas: 100% (47.155 palabras)

Fuentes mencionadas (sin similitudes detectadas) Estas fuentes han sido citadas en el documento sin encontrar similitudes.

- <http://reposit>
- <http://uva>
- <https://www>
- <https://www.ecologiaverde.com/importancia-del-reci>
- <https://dspace.ups.edu.ec/>



firmado electrónicamente por:
BORIS ANDREI FORERO FUENTES

Tutor: Arq. Boris Forero Fuentes, Mgs.
Estudiante: Alex Eduardo Arias Zalamea
Tema: Paneles de madera contralaminada CLT con maderas residuales de la provincia del Guayas.
Porcentaje de Coincidencia COMPILATIO: 1%



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

**FACULTAD DE ARQUITECTURA Y DISEÑO
CARRERA DE ARQUITECTURA**

CERTIFICACIÓN 2

Certificamos que el presente trabajo de titulación, fue realizado en su totalidad por Pedro Andrés Mantilla Avalos y Daniel Alejandro Veintimilla Muñoz, como requerimiento para la obtención del título de Arquitecto.

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de
Arquitecto

TUTOR (ES):



Firmado electrónicamente por:
**ROBINSON DANILO
VEGA JARAMILLO**

f. _____

Arq . Vega Jaramillo, Robinson Danilo; Mgs.

DIRECTOR DE CARRERA

f. _____

Arq. Chunga de la Torre, Félix Eduardo; M.Sc

Guayaquil al día 08 del mes de septiembre del año 2023



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

**FACULTAD DE ARQUITECTURA Y DISEÑO
CARRERA DE ARQUITECTURA**

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD 2

Nosotros, Pedro Andrés Mantilla Avalos
Daniel Alejandro Veintimilla Muñoz

DECLARAMOS QUE:

El Trabajo de Titulación, Paneles de madera contralaminada CLT con maderas residuales de la provincia del Guayas previo a la obtención del título de Arquitecto, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de nuestra total autoría.

En virtud de esta declaración, nos responsabilizamos del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

Guayaquil al día 08 del mes de septiembre del año 2023

LOS AUTORES:

f. 

Pedro Andres Mantilla Avalos

f. 

Daniel Alejandro Veintimilla Muñoz



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

**FACULTAD DE ARQUITECTURA Y DISEÑO
CARRERA DE ARQUITECTURA**

AUTORIZACIÓN 2

Nosotros, Pedro Andrés Mantilla Avalos
Daniel Alejandro Veintimilla Muñoz

Autorizamos a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil a la publicación en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación, Paneles de madera contralaminada CLT con maderas residuales de la provincia del Guayas, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil al día 08 del mes de septiembre del año 2023

LOS AUTORES:

f. _____
Pedro Andrés Mantilla Avalos

f. _____
Daniel Alejandro Veintimilla Muñoz



MANTILLA.PEDRO VEINTIMILLA.DANIEL.TESIS

0%
Similitudes



2% Texto entre comillas
0% similitudes entre comillas
3% Idioma no reconocido

Nombre del documento: MANTILLA.PEDRO
VEINTIMILLA.DANIEL.TESIS.pdf
ID del documento: 40853cde7568348aa469816200d20a72085dde95
Tamaño del documento original: 29,29 MB

Depositante: Robinson Danilo Vega Jaramillo
Fecha de depósito: 27/8/2023
Tipo de carga: interface
Fecha de fin de análisis: 27/8/2023






Número de palabras: 47.152
Número de caracteres: 324.751

Ubicación de las similitudes en el documento:

Fuentes ignoradas Estas fuentes han sido retiradas del cálculo del porcentaje de similitud por el propietario del documento.

Nº	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	ARIAS.ALEX.TESIS.pdf Paneles de madera contralaminada CLT con made... #d09670 El documento proviene de mi grupo	100%		Palabras idénticas: 100% (47.155 palabras)
2	Prototipo de CLT con especies maderables del cantón naranjal - JHONNY... #f54b71 El documento proviene de mi grupo	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (317 palabras)
3	rua.ua.es https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/48919/1/Valoracion_comparativa_de_la_ecoeficiencia_de_...	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (203 palabras)
4	es.slideshare.net 11.-NEC-SE-MD-Estructuras-Madera.pdf https://es.slideshare.net/CarlosAlvear21/11necsemdeestructurasmaderapdf/11.-NEC-SE-MD-Estruct...	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (164 palabras)
5	es.slideshare.net 11.-NEC-SE-MD-Estructuras-Madera.pdf https://es.slideshare.net/CarlosAlvear21/11necsemdeestructurasmaderapdf	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (166 palabras)
6	online.portoviejo.gob.ec https://online.portoviejo.gob.ec/docs/nec8.pdf	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (157 palabras)
7	www.habitatyvivienda.gob.ec https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/2023/03/11.-NEC-SE-MD-Estructuras-Mad...	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (157 palabras)
8	doku.pub Clasificación Visual Por Defectos Para Madera Estructural [9qgxonmw7... https://doku.pub/documents/clasificacion-visual-por-defectos-para-madera-estructural-9qgxonmw7...	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (158 palabras)
9	www.binderholz.com Nuestros valores binderholz https://www.binderholz.com/es/empresa/nuestros-valores/#:~:text=Los restos de madera generado...	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (119 palabras)
10	repositorioacademico.upc.edu.pe https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/10757/652156/3/Ulerena_PW.pdf	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (101 palabras)
11	www.fao.org http://www.fao.org/3/i4407s/i4407s.pdf	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (93 palabras)
12	doi.org Sustainability Free Full-Text The Global Cross-Laminated Timber (CLT)... https://doi.org/10.3390/su15107827	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (73 palabras)
13	repositorio.espe.edu.ec Caracterización de las propiedades mecánicas de la ma... http://repositorio.espe.edu.ec:8080/bitstream/21000/13244/5/T-ESPE-057287.pdf.txt	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (60 palabras)
14	patents.google.com WO2022165613A1 - Un método para la producción de un ad... https://patents.google.com/patent/WO2022165613A1/es	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (54 palabras)
15	dspace.esPOCH.edu.ec Inventario de industrias forestales primarias con el fin de ... http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/6582/3/33T0162.pdf.txt	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (50 palabras)
16	clem-cimad2017.unnoba.edu.ar https://clem-cimad2017.unnoba.edu.ar/papers/T4-06.pdf	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (45 palabras)
17	inmobiliariadja.files.wordpress.com https://inmobiliariadja.files.wordpress.com/2016/09/nec2011-cap-07-construccion-con-madera-021...	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (47 palabras)
18	www.agricultura.gob.ec Proyecto de Reforestación promueve desarrollo madere... https://www.agricultura.gob.ec/proyecto-de-forestacion-promueve-desarrollo-maderero-del-pais/	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (40 palabras)
19	repositorio.espe.edu.ec Tableros estructurales tipo sándwich compuestos de me... http://repositorio.espe.edu.ec:8080/bitstream/21000/15845/5/T-ESPE-040765.pdf.txt	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (39 palabras)
20	econpapers.repec.org EconPapers: The Global Cross-Laminated Timber (CLT) Ind... https://econpapers.repec.org/RePEc:gam:justa:v:15:y:2023:i:10:p:7827-d:1143737	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (34 palabras)

Fuentes mencionadas (sin similitudes detectadas) Estas fuentes han sido citadas en el documento sin encontrar similitudes.

- 1  <http://hdl.handle.net/10045/48919>
- 2  <https://tectonica.archi/articles/construccion-con-madera-clt-en-el-estu>
- 3  <https://guayas.gob.ec/cantones-2/>
- 4  <https://doi>
- 5  <https://method-studio.com/interlocking-cross-laminated-tim>



Firmado electrónicamente por:
ROBINSON DANILO
VEGA JARAMILLO

Tutor: ARQ. ROBINSON DANILO VEGA JARAMILLO.

Autores: PEDRO ANDRES MANTILLA AVALOS.

DANIEL ALEJANDRO VEINTIMILLA MUÑOZ.

Tema: PANELES DE MADERA CONTRALAMINADA CLT CON MADERAS RESIDUALES DE LA
PROVINCIA DEL GUAYAS.

Porcentaje de coincidencia COMPILATIO: 0%



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

**FACULTAD DE ARQUITECTURA Y DISEÑO
CARRERA DE ARQUITECTURA**

AGRADECIMIENTO

Queremos expresar nuestros más sinceros agradecimientos a todas las personas que han contribuido de manera significativa en la realización de esta tesis.

En primer lugar, queremos agradecer a nuestros asesores académicos por su orientación experta, apoyo constante y valiosas sugerencias a lo largo de este proceso.

También queremos agradecer a nuestras familias por su amor incondicional y apoyo emocional durante todo este tiempo. Sus palabras de aliento han sido un motor que nos impulsó a superar cada desafío.

No podemos dejar de mencionar a nuestros amigos, Alex Tacuri, Marcos Galarza, José Eduardo Rodríguez, Marcos Jumbo, Vicka Vaquerizo y Nicole Campos, cuyas discusiones y comentarios enriquecedores nos ayudaron a dar forma a nuestras ideas y mejorar este trabajo.

Por último, pero no menos importante, agradecemos a todas las fuentes académicas y bibliográficas que consultamos, así como a las instituciones que nos brindaron acceso a recursos claves.

Este trabajo no hubiera sido posible sin la contribución de cada uno de ustedes, y por eso les estamos profundamente agradecidos.



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

**FACULTAD DE ARQUITECTURA Y DISEÑO
CARRERA DE ARQUITECTURA**

DEDICATORIA

“Dedico este trabajo de titulación primeramente a mis padres Xavier y Carmen por todo el apoyo y enseñanzas que me han dado a lo largo de toda mi vida, que me inspiraron a ser una mejor persona y supieron brindarme apoyo moral durante mi formación como profesional. A mis hermanos Diego y Karen quienes supieron ayudarme en los momentos más difíciles, en las entregas, en escucharme. A mí novia quien es una gran personas y futura profesional que me ha brindado consejos increíbles, que ha estado apoyándome constantemente a no rendirme.”

-Alex Arias

“Dedico este trabajo a Dios por darme la salud y vida necesaria para culminar una etapa más en vida. Dedicación especial a mis padres Pedro Mantilla y Adelaida Avalos, mi hermana Michelle Mantilla y mi cuñado Jorge Bustamante, por ser un apoyo incondicional en este proceso de tesis, pilares fundamentales tanto en lo personal como en lo profesional.”

-Pedro Mantilla

“Dedico este logro a mis padres y abuelitos por la motivación, fortaleza y la constancia que me han enseñado a tener con el pasar de los años. A mis hermanos por ser un apoyo incondicional y brindarme alegrías. A mis amigos tanto de Quito como de Guayaquil por las risas, las palabras motivacionales, los viajes y todas las experiencias que hemos compartido. A mi pareja, por enseñarme a distribuir mis tiempos y permitirme divertirme como un niño. El constante apoyo de cada uno de ustedes me ha permitido alcanzar este hito en mi vida académica.”

-Daniel Veintimilla



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

**FACULTAD DE ARQUITECTURA Y DISEÑO
CARRERA DE ARQUITECTURA**

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

f. _____

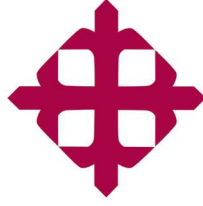
**Arq. Bamba Vicente, Juan Carlos; PhD.
EVALUADOR 1**

f. _____

**Arq. Viteri Chávez, Filiberto José; M.Sc
EVALUADOR 2**

f. _____

**Arq. Naranjo Ramos, Yelitza Gianella; PhD.
OPONENTE**



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE ARQUITECTURA Y DISEÑO
CARRERA DE ARQUITECTURA

CALIFICACIÓN



Firmado electrónicamente por:
BORIS ANDREI FORERO
FUENTES

f. _____

Arq. Forero Fuentes, Boris Andrei; Mgs
TUTOR



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE ARQUITECTURA Y DISEÑO
CARRERA DE ARQUITECTURA

CALIFICACIÓN



Firmado electrónicamente por:
ROBINSON DANILLO
VEGA JARAMILLO

f. _____

**Arq. Vega Jaramillo, Robinson Danilo; Mgs
TUTOR**

INDICE GENERAL

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Problema de investigación	1
1.2. Formulación de problema	7
1.3. Objetivos	7
1.3.1. Objetivo general	7
1.3.2. Objetivos específicos	7
1.4. Justificación	7
1.5. Alcance	12
1.6. Contribución potencial del estudio	12
1.7. Hipótesis	13
1.8. Pertinencia	13
2. MARCO TEÓRICO	14
2.1. Antecedentes	14
2.2. Proceso de producción	18
2.3. Panorama general del CLT	18
2.4. Publicaciones por países para la industria CLT en la base de datos	19
2.5. Proyectos en CLT	21
2.6. Investigación y desarrollo del CLT en Latinoamérica	23
2.7. Variantes de CLT	25
2.8. Madera estructural aserrada	30
2.8.1. Maderas tropicales	30
2.8.2. Propiedades resistentes de la madera	30
2.8.3. Partes y corta de un tronco	31
2.8.4. Defectos Originados por el Secado	32
2.8.5. Clasificación visual de la madera	32
2.8.5.1. Alabeo	32
2.8.5.2. Abarquillado	33
2.8.5.3. Arqueadura	33
2.8.5.4. Encorvadura	34
2.8.5.5. Torcedura	34
2.8.5.6. Arista faltante	35
2.8.5.7. Duramen quebradizo	35
2.8.5.8. Escamadura	36
2.8.5.9. Fallas de compresión	36
2.8.5.10. Grano inclinado	37
2.8.5.11. Grieta	37
2.8.5.12. Médula	38

2.8.5.13. Nudo	38
2.8.5.14. Nudo Sano	38
2.8.5.15. Nudo Hueco	39
2.8.5.16. Nudos Arracimados.....	39
2.8.5.17. Parénquima	40
2.8.5.18. Perforaciones	40
2.8.5.19. Perforaciones pequeñas	40
2.8.5.20. Perforaciones grandes.....	41
2.8.5.21. Rajaduras.....	42
2.9. Requisitos de madera estructural	42
2.10. Calidad de la madera aserrada	43
2.11. Normas entorno al CLT.....	43
2.12. Características y selección de material para CLT.....	44
2.13. Gestión de residuos	47
2.14. Aspectos e Implementación Forestal en Ecuador	49
2.15. Preservación de la madera.....	51
2.16. Absorción de la madera.....	52
2.17. Tipos de adhesivos.....	54
2.17.1. Alternativas de adhesivo.....	55
2.18. Instalaciones de producción.....	57
2.18.1. Objetivos de la Planta de Ecomateriales.....	57
3. METODOLOGÍA.	58
3.1. Metodología y diseño general de investigación	58
3.1.1. Fase 1: Identificar las especies maderables de la región costa.	61
3.1.2. Fase 2: Identificar potenciales sitios de recolección de materia prima.....	61
3.1.3. Fase 3: Desarrollo de muestras de paneles CLT a partir de resi- duos.....	62
3.1.4. Materiales y equipos.....	63
3.1.4.1. Balanza digital.....	63
3.1.4.2. Herramientas de medición	63
3.1.4.3. Higrómetro	64
3.1.4.4. Mesas de sierra	65
3.1.4.5. Sierra ingletadora.....	65
3.1.4.6. Cepilladora.....	67
3.1.4.7. Tanques plásticos.....	67
3.1.4.8. Adhesivo	68
3.1.4.9. Prensa.....	69

3.1.5. Fase 4: Caracterizar propiedades mecánicas de probetas de CLT	70
3.1.6. Materiales y equipos.....	71
3.1.6.1. Máquina para ensayos a flexión	71
3.1.6.2. Máquina para ensayos de compresión	72
4. DESARROLLO.	73
4.1. Levantamiento de información	73
4.2. Elaboración de mapas georreferenciados.....	74
4.3. Descripción especies recolectadas	81
4.4. Selección de especies recolectadas	90
4.4.1. Laurel.....	90
4.4.2. Balsa.....	92
4.4.2.1. Exploración de oportunidades de trabajo en conjunto con el sector balseiro.....	93
4.4.2.2. Cooperación entre Ecuador y China en el sector de Balsa	93
4.4.3. Bambú	94
4.4.3.1. Oportunidades del bambú a nivel nacional	95
4.4.3.2. Normativa.....	96
4.5. Recolección de materia prima	97
4.6. Procesamiento de residuo	99
4.7. Inmunización	110
4.7.1. Procedimiento.....	112
4.8. Ensamblado y prensado de paneles CLT	114
4.9. Resultados y resumen de ensayos	131
4.10. Ensayo de compresión paralela al plano.....	132
4.10.1. Resultados ALB (Alex/Laurel/Balsa) Compresión paralela	135
4.10.2. Resultados PBL (Pedro/Bambú/Laurel) Compresión paralela	139
4.10.3. Resultados DBB (Daniel/Bambú/Balsa) compresión paralela	143
4.11. Ensayo de compresión perpendicular al plano.....	145
4.11.1. Resultados ALB (Alex/Laurel/Balsa) Compresión perpendicular	148
4.11.2. Resultados PBL (Pedro/Bambú/Laurel) compresión perpendicular.....	152
4.11.3. Resultados DBB (Daniel/Bambú/Balsa) compresión perpendicular.....	156
4.12. Ensayo de flexión perpendicular al plano	158

4.12.1. Resultados ALB (Alex/Laurel/Balsa) flexión perpendicular al plano.....	161
4.12.2. Resultados PBL (Pedro/Bambú/Laurel) flexión perpendicular al plano.....	165
4.12.3. Resultados DBB (Daniel/Bambú/Balsa) flexión perpendicular al plano.....	169
4.12.4. Comparación entre ALB, DBB y PBL.....	171
4.12.4.1. Compresión paralela al grano	171
4.12.4.2. Compresión perpendicular al plano	171
4.12.4.3. Flexión perpendicular al plano	172
4.13. Comparación de valores característicos del CLT (UNE-EN 16351) y CLT Local	173
4.14. Compresión paralela al plano	173
4.15. Compresión perpendicular al plano	173
4.16. Flexión perpendicular al plano	173
5. Conclusión	175
6. REFERENCIAS	177

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tipo de material utilizado para estructuras a escala nacional	4
Tabla 2. Tipo de material utilizado para paredes a escala nacional	4
Tabla 3. Lista de Edificios en CLT.....	22
Tabla 4. Empresas que fabrican CLT en Latinoamérica	24
Tabla 5. Características Pino.....	45
Tabla 6. Lista de especies de maderas analizadas	46
Tabla 7. Ficha técnica Urea-Formaldehído.....	68
Tabla 8. Ficha técnica Blancola (PVA).....	69
Tabla 9. Sitios madereros en Balzar y Guayaquil.....	74
Tabla 10. Descripción de sitios en Balzar	76
Tabla 11. Descripción de sitios en Guayaquil	77
Tabla 12. Descripción de sitios en Guayaquil.....	78
Tabla 13. Descripción de sitios en Yaguachi	79
Tabla 14. Descripción de sitios en General Villamil-Playas	80
Tabla 15. Ficha técnica de Balsa (Ochroma Pyramidale).....	82
Tabla 16. Ficha técnica de Teca (Tectona Grandis Linn F.)	83
Tabla 17. Ficha técnica de Laurel (Cordia Alliodora)	84
Tabla 18. Ficha técnica de Pachaco (Schizolobium Parahybum).....	85
Tabla 19. Ficha técnica de Fernan Sanchez (Triplaris Cumingiana)	86
Tabla 20. Ficha técnica de Chanul (Humiriastrum Procerum)	87
Tabla 21. Ficha técnica de Cedro (Cedrela Odorata)	88
Tabla 22. Ficha técnica de Bambú (Guadua Angustifolia Kunth)	89
Tabla 23. Rango de dimensiones de paneles de CLT	101
Tabla 24. Cantidad tablas por especie.....	102
Tabla 25. Datos físicos de balsa, teca, laurel y pachaco recolectados	106
Tabla 26. Datos físicos de Fernan Sanchez, Chanul, Cedro y Bambú.....	107
Tabla 27. Estimación de cantidad procesada de material recolectado.....	108
Tabla 28. Balsa procesada	108
Tabla 29. Laurel y bambú procesados.....	109
Tabla 30. Panel Alex Laurel Balsa 3 capas.....	119
Tabla 31. Panel Alex Laurel Balsa 3 capas.....	120
Tabla 32. Panel de Pedro Bambú Laurel 3 capas	121
Tabla 33. Panel de Pedro Bambú Laurel 3 capas	122
Tabla 34. Panel de Daniel Bambú Balsa 3 capas.....	123
Tabla 35. Panel de Daniel Bambú Balsa 3 capas.....	124
Tabla 36. Panel de Alex Laurel Balsa 5 capas.....	125
Tabla 37. Panel de Alex Laurel Balsa 5 capas.....	126
Tabla 38. Panel de Pedro Bambú Laurel 5 capas	127

Tabla 39. Panel de Pedro Bambú Laurel 5 capas	128
Tabla 40. Panel de Daniel Bambú Balsa 5 capas.....	129
Tabla 41. Panel de Daniel Bambú Balsa 5 capas.....	130
Tabla 42. Probetas de compresión paralela (Alex Arias Laurel Balsa).....	133
Tabla 43. Probetas de compresión paralela (Alex Arias Laurel Balsa).....	134
Tabla 44. Resultados ALB (Alex/Laurel/Balsa) compresión paralela.....	136
Tabla 45. Probetas de compresión paralela (Pedro Mantilla Laurel Balsa).....	137
Tabla 46. Probetas de compresión paralela (Pedro Mantilla Laurel Balsa).....	138
Tabla 47. Resultados PBL (Pedro/Bambú/Laurel) compresión paralela.....	140
Tabla 48. Probetas de compresión paralela (Daniel Veintimilla Laurel Balsa)	141
Tabla 49. Probetas de compresión paralela (Daniel Veintimilla Laurel Balsa)	142
Tabla 50. Resultados DBB (Daniel/Bambú/Balsa) compresión paralela	144
Tabla 51. Probetas de compresión perpendicular (Alex Arias Laurel Balsa).....	146
Tabla 52. Probetas de compresión perpendicular (Alex Arias Laurel Balsa).....	147
Tabla 53. Resultados ALB (Alex/Laurel/Balsa) compresión perpendicular.....	149
Tabla 54. Probetas de compresión perpendicular (Pedro Mantilla Laurel Balsa).....	150
Tabla 55. Probetas de compresión perpendicular (Pedro Mantilla Laurel Balsa).....	151
Tabla 56. Resultados PBL (Pedro/Bambú/Laurel) compresión perpendicular.....	153
Tabla 57. Probetas de compresión perpendicular (Daniel Veintimilla Laurel Balsa) .	154
Tabla 58. Probetas de compresión perpendicular (Daniel Veintimilla Laurel Balsa) .	155
Tabla 59. Resultados DBB (Daniel/Bambú/Balsa) compresión perpendicular	157
Tabla 60. Probetas de flexión perpendicular al plano (Alex Arias Laurel Balsa)	159
Tabla 61. Probetas de flexión perpendicular al plano (Alex Arias Laurel Balsa)	160
Tabla 62. Resultados ALB (Alex/Laurel/Balsa) flexión perpendicular al plano	162
Tabla 63. Probetas de flexión perpendicular al plano (Pedro Mantilla Laurel Balsa)	163
Tabla 64. Probetas de flexión perpendicular al plano (Pedro Mantilla Laurel Balsa)	164
Tabla 65. Resultados PBL (Pedro/Bambú/Laurel) flexión perpendicular al plano	166
Tabla 66. Probetas de flexión perpendicular al plano (Daniel Veintimilla Laurel Balsa)	167
Tabla 67. Probetas de flexión perpendicular al plano (Daniel Veintimilla Laurel Balsa)	168
Tabla 68. Resultados DBB (Daniel/Bambú/Balsa) flexión perpendicular al plano.....	170
Tabla 69. Valores característicos de resistencia de la madera contralaminada (CLT) según UNE-EN 16351.....	174
Tabla 70. Comparación de valores característicos de CLT (UNE-EN 16351) y CLT local	174

INDICE FIGURAS

Figura 1. Relación entre energía y carbono embebidos.....	2
Figura 2. Emisiones de CO2 por material.....	5
Figura 3. Coste energético (MJ) en la producción de materiales para las dos tipologías constructivas.....	8
Figura 4. Emisiones de CO2 (kg) en la producción de materiales para las dos tipologías constructivas.....	9
Figura 5. Ciclo de vida madera CLT	11
Figura 6. Composición de panel CLT	17
Figura 7. Distribución de los fabricantes de CLT activos según sus orígenes a principios de 2023.....	19
Figura 8. Poblaciones de los principales objetivos dirigidos por las publicaciones buscadas en el nivel general según la base de datos Scopus.	20
Figura 9. Sección de longitudinal de panel ICLT con unión de cola de milano	28
Figura 10. Vista de panel ICLT con unión de cola de milano	28
Figura 11. Llaves de entrada. a) Cola de milano b) riostra rectangular.....	29
Figura 12. Direcciones ortogonales de la madera	30
Figura 13. Partes del tronco y tipos de corte.....	31
Figura 14. Deformaciones producidas al secar lo madera	32
Figura 15. Abarquillado.....	33
Figura 16. Arqueadura	33
Figura 17. Encorvadura	34
Figura 18. Torcedura.....	34
Figura 19. Arista faltante.....	35
Figura 20. Duramen quebradizo	35
Figura 21. Escamadura o acebolladura.....	36
Figura 22. Fallas de compresión	36
Figura 23. Grano inclinado	37
Figura 24. Grieta.....	37
Figura 25. Médula.....	38
Figura 26. Nudo sano	38
Figura 27. Nudo hueco	39
Figura 28. Nudo arracimados	39
Figura 29. Parénquima	40
Figura 30. Perforaciones pequeñas.....	41
Figura 31. Perforaciones grandes	41
Figura 32. Rajaduras	42
Figura 33. Diagrama de flujo fase 3.....	62
Figura 34. Balanza digital	63

Figura 36. Herramientas de medición. (a) calibrador digital. (b) flexómetro.....	64
Figura 35. Higrómetro.....	64
Figura 37. Mesas de sierra.....	65
Figura 39. Sierra ingletadora.....	66
Figura 38. Latilladora tipo estrella.....	66
Figura 40. Latilladora tipo estrella.....	66
Figura 41. Cepilladora de madera de una cara.....	67
Figura 42. Tanques. (a) Tanque 55 gl. (b) Tacho extrafuerte de 77 lt.....	68
Figura 43. Prensa hidráulica 300ton.....	69
Figura 44. Diagrama de flujo fase 4.....	70
Figura 45. Máquina para ensayos a flexión.....	71
Figura 46. Máquina para ensayos a compresión.....	72
Figura 47. Depósitos de maderas en Guayaquil. (a) Maderera Sandrita. (b) Maderera Quininde.....	73
Figura 48. Mapa de Ecuador.....	74
Figura 49. Mapa de la provincia del Guayas dividida por cantones.....	74
Figura 50. Preservante Agrin 25.....	76
Figura 51. Aserradero Villareal.....	76
Figura 52. Galpón Villareal.....	76
Figura 53. Maderas Ochoa.....	76
Figura 54. Sacos residuos.....	77
Figura 55. Tablas aserradas.....	77
Figura 56. Retazos de madera.....	77
Figura 57. Taller Quininde.....	77
Figura 58. Taller Tiffany.....	78
Figura 59. Taller Don Alfonso.....	78
Figura 61. Productos finales.....	78
Figura 60. Sacos de residuos.....	78
Figura 62. Planta Haromadera.....	79
Figura 63. Corchos de balsa.....	79
Figura 65. Pallets de pino.....	79
Figura 64. Planta Madertrop.....	79
Figura 66. Sacos de aserrin.....	80
Figura 67. Tiras de madera.....	80
Figura 68. Corchos de balsa.....	82
Figura 69. Residuos de teca.....	83
Figura 70. Residuos de laurel.....	84
Figura 71. Residuos de Pachaco.....	85
Figura 72. Residuos de Fernan Sanchez.....	86

Figura 73. Residuos de Chanul	87
Figura 74. Residuos de Cedro	88
Figura 75. Bambú de planta ecomateriales	89
Figura 76. Transporte de material residual	97
Figura 77. Almacenamiento en planta de ecomateriales	98
Figura 78. Clasificación por especie	98
Figura 79. Registro de datos	99
Figura 80. Defectos visuales. (a) arista faltante. (b) duramen quebradizo. (c) nudo arracimado. (d) nudo hueco	100
Figura 81. Clasificación de madera según sus dimensiones	101
Figura 82. Cortes longitudinales en mesas de sierra	102
Figura 83. Cepillado de residuos	103
Figura 84. Corte transversal en ingletadora	103
Figura 85. Latillado de la caña guadua	104
Figura 86. Eliminación de nudos	105
Figura 87. Eliminación de nudos	105
Figura 88. Residuo de balsa	106
Figura 89. Residuo de laurel	106
Figura 90. Residuo de teca	106
Figura 91. Residuo de Pachaco	106
Figura 92. Residuo de Fernan Sanchez	107
Figura 95. Residuo de Cedro	107
Figura 93. Residuo de Chanul	107
Figura 94. Bambú seleccionado	107
Figura 96. Balsa sin procesar	108
Figura 97. Balsa procesada	108
Figura 98. Laurel sin procesar	109
Figura 99. Bambú sin procesar	109
Figura 100. Laurel procesado	109
Figura 101. Bambú procesado	109
Figura 102. Inmunización en tanque de 55 gl	112
Figura 103. Secado de maderas	113
Figura 104. Medición de humedad	113
Figura 105. Preensamblado de paneles	114
Figura 106. Preparación pegante	115
Figura 107. Colocación de adhesivos	116
Figura 108. Preparación mezcla UF+PVA	116
Figura 109. Capas puestas en mesa	117
Figura 110. Muestras armadas en mesa	118

Figura 111. Muestras en prensa de 300 ton	118
Figura 112. ALB 301	119
Figura 113. ALB 302	119
Figura 114. ALB 303	120
Figura 115. Observaciones ALB 3 capas.....	120
Figura 116. PBL 301	121
Figura 117. PBL 302	121
Figura 118. PBL 303	122
Figura 119. Observaciones PBL 3 capas.....	122
Figura 120. DBB 301	123
Figura 121. DBB 302	123
Figura 122. DBB 303	124
Figura 123. Observaciones DBB 3 capas.....	124
Figura 124. ALB 501	125
Figura 125. ALB 502	125
Figura 126. ALB 503	126
Figura 127. Observaciones ALB 5 capas	126
Figura 128. PBL 501	127
Figura 129. PBL 502	127
Figura 130. PBL 503	128
Figura 131. Observaciones PBL 5 capas	128
Figura 132. DBB 501	129
Figura 133. DBB 502	129
Figura 134. DBB 503	130
Figura 135. Observaciones DBB 5 capas.....	130
Figura 136. ALB 501	133
Figura 137. ALB 502	133
Figura 138. ALB 503	133
Figura 139. ALB 504	133
Figura 140. ALB 505	134
Figura 141. ALB 506	134
Figura 142. Promedio	134
Figura 143. Observaciones.....	134
Figura 144. Resultados ensayos ALB compresión paralela	136
Figura 145. Desviación resistencia ALB compresión paralela.....	136
Figura 146. PBL 501	137
Figura 147. PBL 502	137
Figura 148. PBL 503	137
Figura 149. PBL 504	137

Figura 150. PBL 505	138
Figura 151. PBL 506	138
Figura 152. Promedio	138
Figura 153. Observaciones.....	138
Figura 154. Resultados ensayos PBL compresión paralela	140
Figura 155. Desviación resistencia PBL compresión paralela.....	140
Figura 156. DBB 501	141
Figura 157. DBB 502	141
Figura 158. DBB 503	141
Figura 159. DBB 504	141
Figura 160. DBB 505	142
Figura 161. DBB 506	142
Figura 162. Promedio	142
Figura 163. Observaciones.....	142
Figura 164. Resultados ensayos DBB compresión paralela	144
Figura 165. Desviación resistencia DBB compresión paralela	144
Figura 166. ALB 501	146
Figura 167. ALB 502.....	146
Figura 168. ALB 503.....	146
Figura 169. ALB 504.....	146
Figura 170. ALB 505.....	147
Figura 171. ALB 506.....	147
Figura 172. Promedio	147
Figura 173. Observaciones.....	147
Figura 174. Resultados ensayos ALB compresión perpendicular	149
Figura 175. Desviación resistencia ALB compresión perpendicular.....	149
Figura 176. PBL 501	150
Figura 177. PBL 502.....	150
Figura 178. PBL 503.....	150
Figura 179. PBL 504.....	150
Figura 180. PBL 505.....	151
Figura 181. PBL 506.....	151
Figura 182. Promedio	151
Figura 183. Observaciones.....	151
Figura 184. Resultados ensayos PBL compresión perpendicular	153
Figura 185. Desviación resistencia PBL compresión perpendicular.....	153
Figura 186. DBB 501	154
Figura 187. DBB 502.....	154
Figura 188. DBB 503.....	154

Figura 189. DBB 504	154
Figura 190. DBB 505	155
Figura 191. DBB 506	155
Figura 192. Promedio	155
Figura 193. Observaciones.....	155
Figura 194. Resultados ensayos DBB compresión perpendicular	157
Figura 195. Desviación resistencia DBB compresión perpendicular	157
Figura 196. ALB 501	159
Figura 197. ALB 502	159
Figura 198. ALB 503	159
Figura 199. ALB 504	159
Figura 200. ALB 505	160
Figura 201. ALB 506	160
Figura 202. Promedio	160
Figura 203. Observaciones.....	160
Figura 204. Resultados ensayos ALB flexión perpendicular al plano.....	162
Figura 205. Desviación resistencia ALB flexión perpendicular al plano	162
Figura 206. PBL 501	163
Figura 207. PBL 502	163
Figura 208. PBL 503	163
Figura 209. PBL 504	163
Figura 210. PBL 505	164
Figura 211. PBL 506	164
Figura 212. Promedio	164
Figura 213. Observaciones.....	164
Figura 214. Resultados ensayos PBL flexión perpendicular al plano.....	166
Figura 215. Desviación resistencia PBL flexión perpendicular al plano	166
Figura 216. DBB 501	167
Figura 217. DBB 502	167
Figura 218. DBB 503	167
Figura 219. DBB 504	167
Figura 220. DBB 505	168
Figura 221. DBB 506	168
Figura 222. Promedio	168
Figura 223. Observaciones.....	168
Figura 224. Resultados ensayos DBB flexión perpendicular al plano	170
Figura 225. Desviación resistencia DBB flexión perpendicular al plano	170

RESUMEN

La presente investigación corresponde a la construcción de un panel de madera contra-laminada (CLT) cuyas propiedades mecánicas se asemejen a los paneles de CLT utilizados en otras partes del mundo como un material estructural. Por lo que, el material a emplear debe cumplir con tres requisitos; el primero, las maderas a utilizarse deben cumplir con cierto grado de resistencia estructural. El segundo requisito, que las condiciones industriales y la oferta del material existan dentro del entorno. Y como tercer requisito, que las maderas a utilizarse sean de carácter de residuo y no se encuentren catalogadas como especies en peligro. Todo esto con la finalidad de buscar una alternativa de componentes constructivos, utilizando como materia prima los residuos de madera que se consumen en la provincia del Guayas. Permitiendo un mejor aprovechamiento del potencial forestal de la provincia, haciendo a este sector más sostenible. Para obtener la materia prima se realiza un levantamiento de información en aserraderos del país y se utilizan los residuos de tres especies maderables. Todas estas se encuentran dentro del rango de maderas duras y semiduras. Posteriormente, se elaboran muestras y probetas de CLT para determinar las propiedades mecánicas de resistencia a esfuerzos de compresión y flexión. Los procedimientos son realizados bajo la normativa de madera contra laminada como UNE-EN 16351, UNE-EN 408 y ASTM D198 de madera.

Palabras Claves: Materia prima, CLT, residuo, maderas, resistencia, paneles

ABSTRACT

The present research corresponds to the construction of a cross-laminated timber (CLT) panel whose mechanical properties are similar to CLT panels used in other parts of the world as a structural material. Therefore, the material to be used must meet three requirements; first, the timbers to be used must meet a certain degree of structural strength. The second requirement is that the industrial conditions and supply of the material exist within the environment. And as a third requirement, the wood to be used must be of a waste nature and must not be catalogued as endangered species. All this with the purpose of looking for an alternative of constructive components, using as raw material the wood residues that are consumed in the province of Guayas. Allowing a better use of the forestry potential of the province, making this sector more sustainable. To obtain the raw material, information was gathered from sawmills in the country and the residues of three timber species were used. All of these are in the hardwood and semi-hardwood range. Subsequently, CLT samples and specimens are prepared to determine the mechanical properties of compressive and flexural strength. The procedures are carried out according to the standards for laminated timber such as UNE-EN 16351, UNE-EN 408 and ASTM D198 for wood.

Keywords: raw material, CLT, residue, wood, resistance, panels

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Problema de investigación

El sector de la construcción a nivel mundial es una de las actividades que representa el mayor porcentaje de consumo de energía y emisiones de gases de efecto invernadero al ambiente. (Caamaño González, 2021) Esto debido a los procesos de producción de obtención de la materia prima, transporte y energía incorporada en los productos y materiales que constituyen las edificaciones. (Karacabeyli & Gagnon, 2019, pp. 11–19) La huella de carbono es un indicador de la huella ambiental, dentro del análisis del ciclo de vida de un material. El dióxido de carbono es el principal tipo de gas de efecto invernadero, que, si no se logra contener, representa un gran impacto al medio ambiente. (Sizirici et al., 2021) El sector de la construcción es el mayor responsable en la generación de gases de efecto invernadero, representando el 33% de emisiones a nivel global, y 40 % de consumo energético, a raíz de sus procesos de manufactura y transporte. (Sizirici et al., 2021)

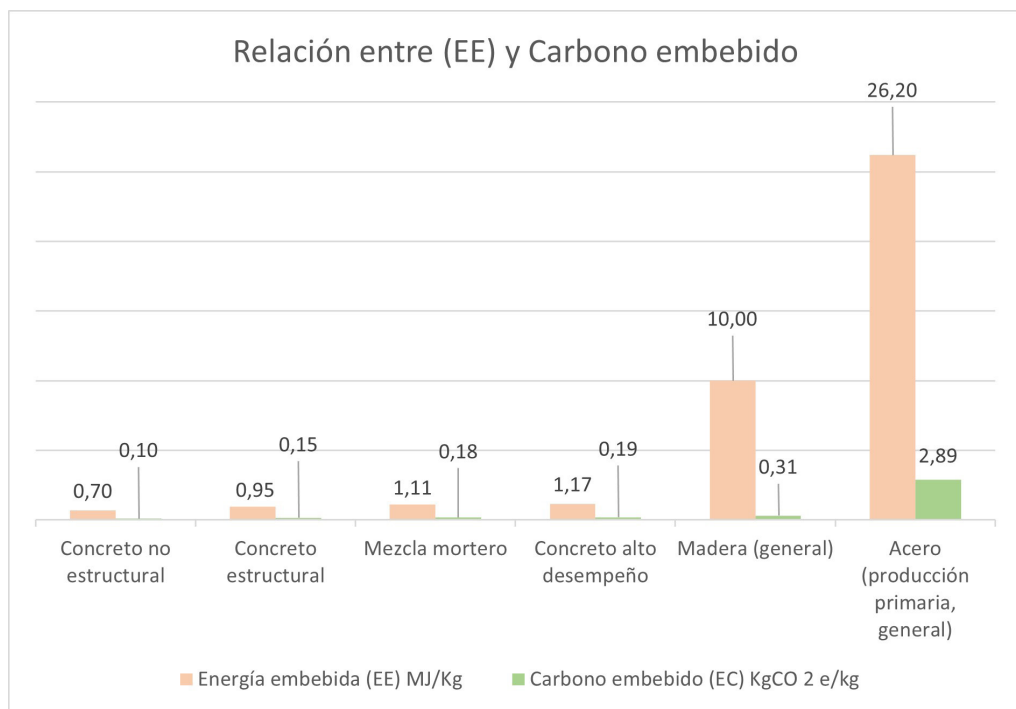
El 4º Informe de Evaluación del Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC), de 2007 se manifiesta que, las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) de los edificios contribuyeron con 8.600 millones de t-CO₂ (Toneladas de Carbono) -e en 2004, y podría alcanzar hasta 15.600 millones de t-CO₂ -e para 2030, creando un aumento del 26 % de CO₂ que representa entre el 30 y el 40 % de las emisiones totales de gases de efecto invernadero. (Mardiana & Riffat, 2015) Materiales como el hormigón, acero, aluminio y vidrio, han contribuido a la mayor parte de emisiones de GEI en sus procesos de manufactura. Y son estos los materiales primordiales en la construcción a nivel mundial.

Para determinar las cargas ambientales derivados de los procesos y productos generados por la industria de la construcción la ISO 14.040 establece que se realice un Análisis de ciclo de vida o Life Cycle Assesment (LCA). La evaluación de ACV incluye variantes como Cradle to Grave (Cuna a la Tumba) que abarca desde la extracción de la materia prima, manufactura, transporte, uso y reuso, reciclamiento hasta el fin de su vida útil; Cradle to Gate (Producción del Producto) que se enfoca en la extracción de la materia prima hasta la salida de fábrica, solo es la fabricación del producto final; Gate to Grave (Fuera de fábrica) que comprende el impacto ambiental del producto ya fuera de fábrica hasta su desecho y reciclaje; Gate to Gate (Dentro de la fábrica) que estudia la transformación interna en fabrica del producto, excluyendo su extracción; y Cradle to cradle (de la cuna a la cuna), que su función es aplazar y

alargar la vida de un producto, reacondicionarlo y prevenir los residuos que se generen. De forma que se cumpla un ciclo de vida seguro, por ejemplo, para fibras naturales, para su descomposición y reutilización en productos amigables para el ambiente. (ecverde, 2022; Khasreen et al., 2009; Naranjo Rea & Maldonado Narváez, 2022; Pelufo Meier, 2011) De acuerdo con Solano Garcia (2022), la gran parte de los desechos de materiales de construcción terminan en vertederos o tiraderos al no ser usados en ningún otro proceso, lo cual contamina y no favorece al medioambiente. Así como la producción, la manufacturación del material y el mantenimiento del edificio. Todo esto conlleva a un gasto energético que contribuye a la (GEI). Por lo tanto, la energía total utilizada en una edificación durante su ciclo de vida se clasifica en: energía embebida y energía operacional.

La energía embebida se refiere a la energía utilizada desde la extracción de las materias primas, su proceso de transformación y fabricación, así como el transporte necesario hasta el lugar donde se utilizarán. Por otro lado, la energía operacional se refiere al consumo de energía durante el uso y la operación de los edificios a lo largo de su vida útil. Esto incluye el consumo de energía para la iluminación artificial, el uso de aparatos eléctricos y el uso de otros combustibles necesarios. (Solano García, 2022)

Figura 1. Relación entre energía y carbono embebidos



Fuente: Elaboración propia en base a *Relación entre energía y carbono embebidos* (p.7), por Solano Garcia, 2022, *Energía y emisiones de los materiales de construcción*.

Como se puede observar, los materiales orgánicos como la madera presentan valores relativamente bajos de carbono embebido en comparación con su energía embebida. Esto se debe a que estos materiales no son sometidos a procesos de fabricación que sean energéticamente intensivos. En otras palabras, la madera requiere menos energía durante su etapa de manufactura en comparación con otros materiales, lo cual contribuye a reducir su huella de carbono. Materiales estructurales como el concreto o acero, tienen baja huella energética y carbono embebido, sin embargo, puede ser engañoso, ya que estas medias se dan por kilogramo de material y estos materiales al ser mayormente estructurales, tienden a presentar toneladas en las edificaciones, dando como resultado altos contenidos energéticos en comparación con otros materiales utilizados. (Solano García, 2022)

Algunos consejos para diseñar con menores emisiones de carbono en la arquitectura.

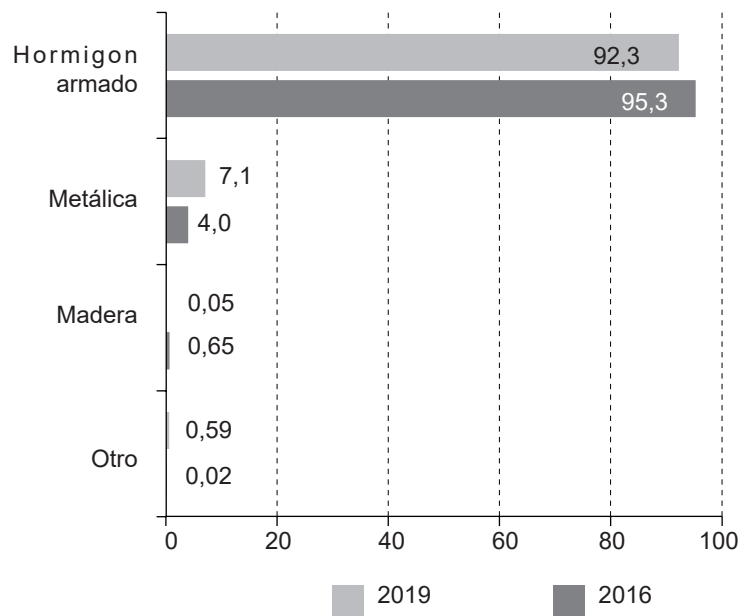
- Aprovechar las cualidades del material: Es aconsejable evitar la utilización de materiales de alta huella de carbono como el acero y concreto. Siempre es bueno considerar otras alternativas más ecológicas con su huella de carbono.
- Sistemas híbridos y reciclaje: Es óptimo combinar tipos de estructuras, como tensores de acero con vigas laminadas, considerando su temporalidad y la posibilidad de usar materiales reciclados. (Solano García, 2022, p. 8)

Se ha demostrado que, el concreto es el principal material con gran impacto ambiental, ya que causa el mayor porcentaje de emisión de GEI al ambiente. Durante la fase de producción de materiales como cemento, minerales no metálicos, hierro, acero, hormigón; y el transporte de materia prima, se emite entre 82% a 96% del total de CO₂, en el periodo de construcción. Siendo el concreto el de mayor emisión de CO₂ durante su proceso. (Sizirici et al., 2021)

En Ecuador, se ha demostrado que el hormigón y el acero son los materiales predominantes en todos los elementos constructivos de viviendas en zonas urbanas. Según CEPAL, (2022), en base a la Encuesta de Edificaciones (ENED) realizada en 2019 como referencia de materiales comunes en el país, el hormigón es usado en un 92% en estructuras y en un 95% como bloques o ladrillos para paredes. El acero como elemento constructivo arquitectónico, tiene sus ventajas en facilidad de montaje, disminución de desperdicios en obra. Mas sin embargo no deja de ser un material de gran impacto durante su periodo constructivo en edificios. (pp. 18-23)

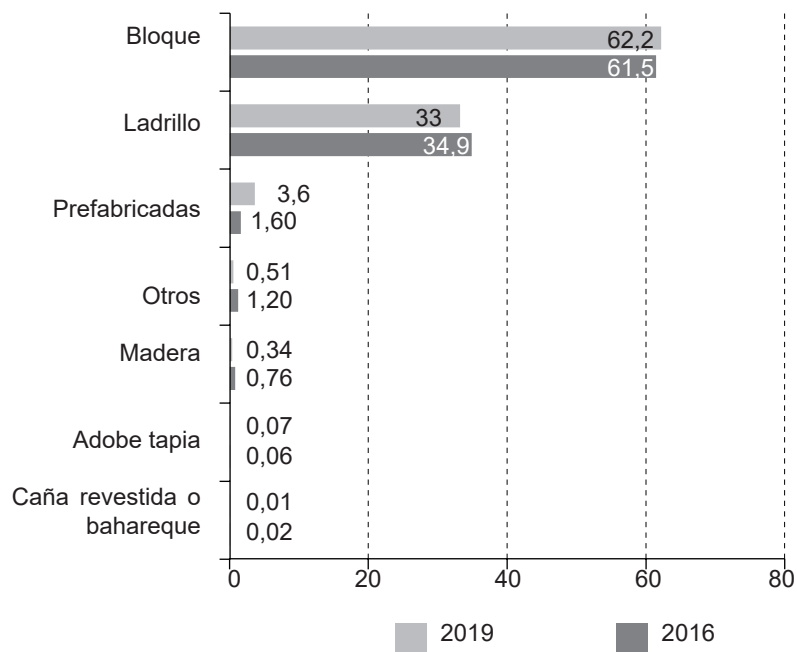
En las tablas 1 y 2 se muestra el porcentaje de material más usado para cimentaciones, estructuras y paredes, en el año 2016 y 2019, en base a la ENED de cada año.

Tabla 1. Tipo de material utilizado para estructuras a escala nacional



Fuente: CEPAL, (2022)

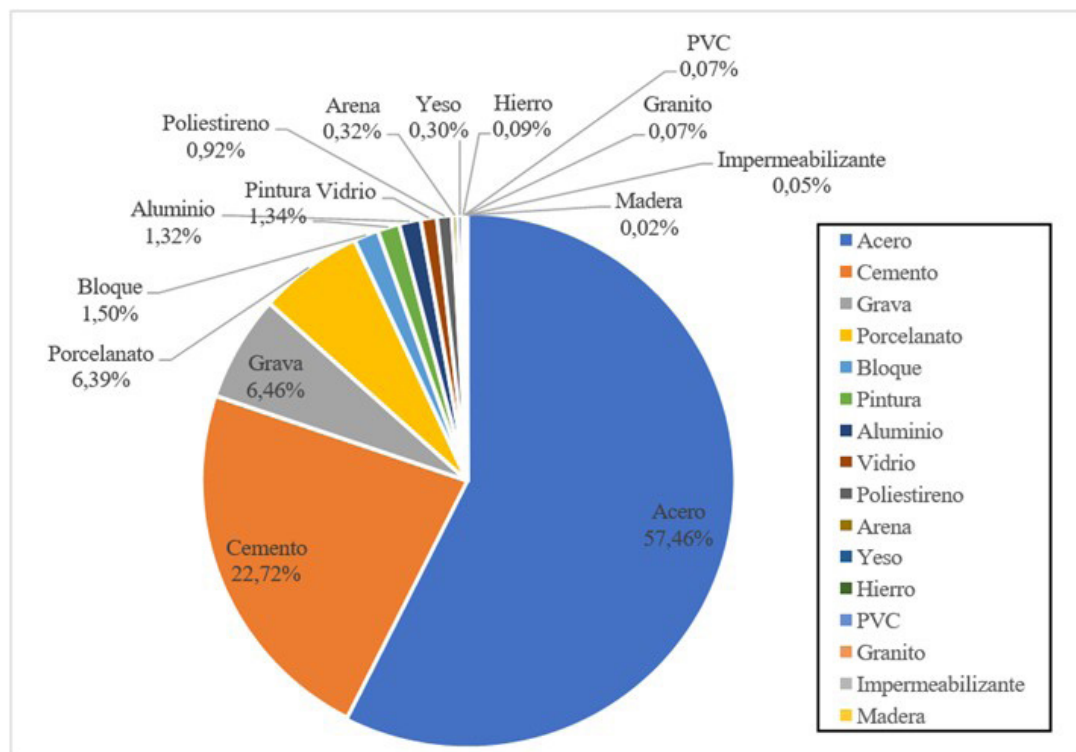
Tabla 2. Tipo de material utilizado para paredes a escala nacional



Fuente: CEPAL, (2022)

En Ecuador se realizó el estudio del Edificio de Ciencias Básicas de la Universidad Técnica de Ambato, que según indica Naranjo Rea & Maldonado Narváez, (2022), las cantidades de emisión de CO2 producto de los materiales usados en su construcción son bastante elevados destacando al cemento y el acero. Entre los materiales más contaminantes durante el proceso constructivo del edificio tenemos, el acero estructural con un valor del 57,46%, continuación, le siguen el cemento con un 22,72% y agregados para la fabricación del hormigón. (pp.9)

Figura 2. Emisiones de CO2 por material



Fuente: En base a Emisiones de CO2 por material. Situación actual (p.9), por Naranjo Rea & Maldonado Narváez, 2022, Propuesta de disminución de huella de carbono para construcción de edificaciones. Caso de estudio: Edificio de Ciencias Básicas de la Universidad Técnica de Ambato, Ecuador. (<https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/30588>)

Actualmente existe poco uso o interés por la madera debido a factores que según indica Fuentes Arcos, (2022) son:

- Limitaciones en la cadena de producción: Se refiere a la masa boscosa limitada en la actualidad, falta de industrialización de la madera, falta de productos y mano de obra especializada, y falta de conocimientos para el mantenimiento.

- Limitaciones culturales de la industria de la construcción: Se refiere a la pérdida de cultura de la construcción en madera, aceptación del material por parte de los profesionales, desconocimiento y desinterés de la población sobre las prestaciones del material y su buen aprovechamiento a raíz de sus residuos.
- Mercado limitado: Se refiere a una demanda necesaria para sustentar la industrialización del producto.
- Limitaciones por parte de las entidades de control: Se refiere a la falta de gestión y administración por parte del gobierno y entidades del sector privado, siendo estos ineficientes en la producción de materia prima, con una falta de normas que regulan el proceso constructivo. (pp.32)

La madera laminada cruzada, a pesar de ser un material usado con frecuencia en construcciones de viviendas, edificios de oficinas, residenciales, etc., no ha sido objeto de estudio a nivel local considerando, que es una alternativa sostenible que se rige bajo los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la Agenda de Desarrollo Sostenible 2030 de la ONU. En países como Austria, Alemania, ya existe manufactura a nivel industrial del material como componente constructivo. El CLT como se ha demostrado en varios estudios, presenta buenas características estructurales a nivel del hormigón y el acero (“Cross-laminated timber (CLT) – a state of the art report”, 2018); y que su conocimiento podría impulsar a un mejor manejo forestal, dando un motivo de industrialización para la construcción.

Para Aguirre Mendoza, (2015), se debe generar mayor información sobre el recurso forestal que el país provee, con sus características, descripciones, propiedades, etc., porque esto posiblemente resulte en un paso importante para un buen manejo forestal de los bosques. (pp.95)

Por otro lado, existe un mal aprovechamiento de los residuos generados de la actividad maderera, más específicamente de la madera aserrada, ya que no se les otorga algún valor agregado a los mismos. Las operaciones de aprovechamiento y transformación de madera aserrada son las que generan mayor cantidad de residuos, siendo estos destinados a la quema, liberando CO₂ al ambiente, lo cual provoca gran contaminación, siendo uno de los grandes problemas de la industria maderera en el país. Tampoco están destinados a procesarse como producto, teniendo así algún valor agregado. (Luna Altamirano & Sarmiento Espinoza, 2019; Reyes Jipa, 2021; Torres Gordón, 2022)

1.2. Formulación de problema

¿Cuáles son las características y propiedades mecánicas de compresión y tracción de los paneles clt elaborados a partir de maderas residuales obtenidas de la industria maderera ubicadas en la provincia del Guayas?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Ensamblar paneles de madera contralaminada CLT para muros interiores, con maderas residuales de la provincia del Guayas

1.3.2. Objetivos específicos

- Recopilar información sobre las especies maderables de la región costa (Fase 1)
- Identificar sitios productores de madera y de alto índice de residuo. (Fase 2)
- Fabricar muestras de paneles CLT a partir de residuos. (Fase 3)
- Desarrollar ensayos mecánicos de compresión y flexión a las muestras de CLT. (Fase 4)

1.4. Justificación

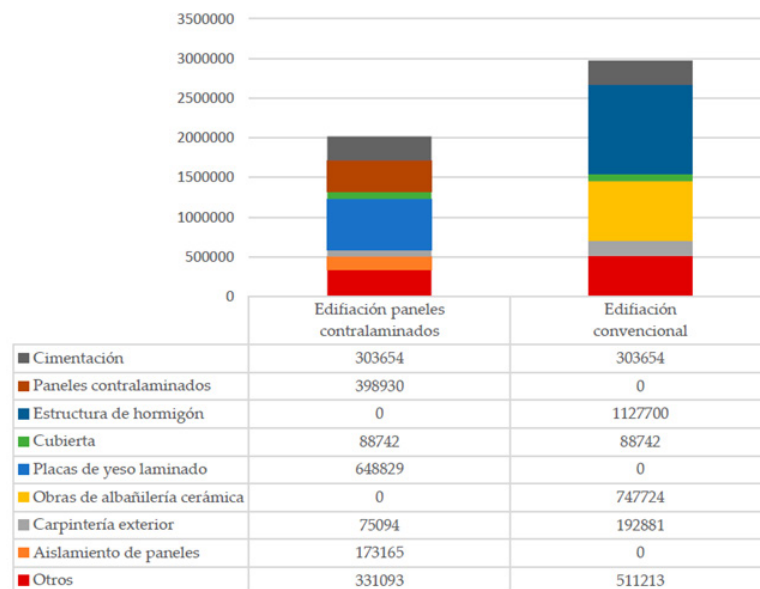
Existe una elevada emisión de gases efectos invernaderos (GEI), producto de los procesos industriales que se llevan a cabo en la construcción.(CEPSA, 2015; Roca, 2023) Los materiales más comunes en construcción son acero y hormigón, siendo estos los que demandan de más energía en sus procesos de obtención. (García Ochoa et al., 2020) Ante esta realidad se plantea una alternativa frente a dicho problema por medio de paneles CLT (Madera contra-laminada). La madera es un material renovable, que, con un buen aprovechamiento, se convierte en una solución sostenible y de menor impacto ambiental al sector de la construcción. Contribuye a la disminución de la huella de carbono por ser un recurso orgánico con bajas emisiones de Gases de efecto invernadero, el principal carbono. (Banco Mundial, 2020a) De acuerdo con un estudio de la Universidad de Yale y la Universidad de Washington, “el uso de sustitutos de la madera podría ahorrar entre el 14% y el 31% de las emisiones mundiales de CO₂ y entre el 12% y el 19% del consumo mundial de combustibles fósiles si se utilizara entre el 34 y el 100% del crecimiento sostenible de la madera en el mundo”. (Lyonnet, 2022)

El CLT como producto tiene la ventaja de un menor consumo de energía en sus procesos, ya que no se requieren de maquinarias especiales, ni explotación minera para obtener su materia prima, la madera.

Según la compañía Wood for Good, para producir una tonelada de ladrillos se requiere cuatro veces la cantidad de energía requerida para producir la madera blanda aserrada (utilizada para el CLT); el concreto requiere cinco veces, el acero 24 veces y el aluminio 126 veces. (Lop, 2020)

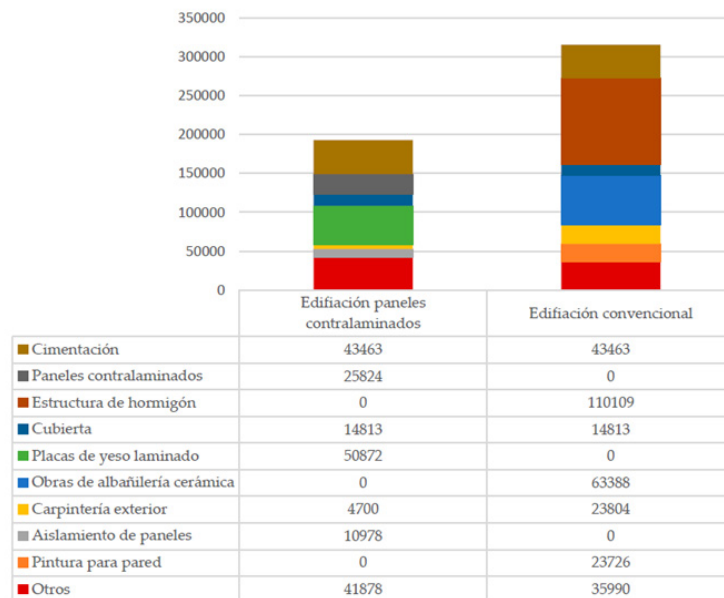
Estévez Chorro, (2015), realizó una comparativa de dos diferentes métodos constructivos, en madera contra-laminada y construcción convencional (hormigon-acero), en un edificio modelo hecho en Revit. El edificio base, para modelar el edificio virtual, fue el de Ramón Llobera Serentill, situado en Lérida y se trata del edificio con estructura de madera de 6 plantas, construido en 2013. El autor realiza el Análisis de Ciclo de Vida de acuerdo con 5 etapas en el ciclo de un edificio: producción del edificio, construcción del edificio, uso del edificio, disposición final del edificio y repercusión económica; este último parámetro no es parte del ACV, pero se consideró para la comparativa de los edificios. Se analizó el coste energético en MJ y dióxido de carbono por las limitantes de base de datos para el resto de los parámetros del ACV. En las figuras 3 y 4 se muestran los resultados de ambos edificios.

Figura 3. Coste energético (MJ) en la producción de materiales para las dos tipologías constructivas



Fuente: En base a *Coste energético (MJ) en la producción de materiales para las dos tipologías constructivas*, por Estévez Chorro, 2015. Valoración comparativa de la eco-eficiencia de los paneles de madera contralaminada. (<http://hdl.handle.net/10045/48919>)

Figura 4. Emisiones de CO2 (kg) en la producción de materiales para las dos tipologías constructivas.



Fuente: En base a *Emisiones de CO2 (kg) en la producción de materiales para las dos tipologías constructivas*, por Estévez Chorro, 2015. Valoración comparativa de la eco-eficiencia de los paneles de madera contra-laminada. (<http://hdl.handle.net/10045/48919>)

La figura 3 muestra que el consumo energético de los materiales que forman el edificio convencional es muy superior al consumo de los materiales del modelo de paneles contra-laminados. La diferencia del consumo en el conjunto de materiales es de más de 950.000 MJ por parte de la edificación convencional. (Estévez Chorro, 2015)

La figura 4 demuestra que las emisiones de dióxido de carbono producidas por la fabricación de los materiales del edificio convencional son muy superiores a las producidas en el edificio de paneles contra-laminados. El hormigón utilizado en el edificio convencional sustituye a los paneles contra-laminados, y aunque en estos también se incluyen los paneles utilizados en las particiones del edificio que no tienen función estructural, las emisiones de dióxido de carbono de la estructura de hormigón armado superan por más del doble a las producidas por los paneles de madera contra-laminada. (Estévez Chorro, 2015) La prefabricación, el reciclaje, el control de extracción y la baja emisión de CO2, son puntos clave en la sostenibilidad de la madera contra-laminada.

Según comenta la ingeniera Beatriz Gonzales Rodrigo en una conferencia para la Universidad Politécnica de Madrid, la procedencia de la materia prima para el CLT, en su totalidad, viene de plantaciones forestales controladas y destinadas para fines comerciales, pero sin afectar bosques o formaciones primarias de árboles, mencionando como ejemplo lo que se hace en Costa Rica, donde un área destinada al banano, lo usaron para plantaciones forestales, claro que no se debe de afectar cultivos agrícolas. Toda madera para el CLT viene de bosques para dicho fin y debe tener sus certificaciones FSC o PEFC. Adicional el moderador José Ygnacio Pastor, afirma que una vez acabada la construcción de un edificio de CLT, se puede reciclar todo el material residual, a diferencia de una construcción de hormigón donde es muy difícil reutilizar todo el material residual. Una construcción en madera se puede reutilizar para fabricar más madera como la laminada, para construcciones de menor envergadura o para biocombustibles, eso es en resumen una economía circular. (Canal UPM, 2019)

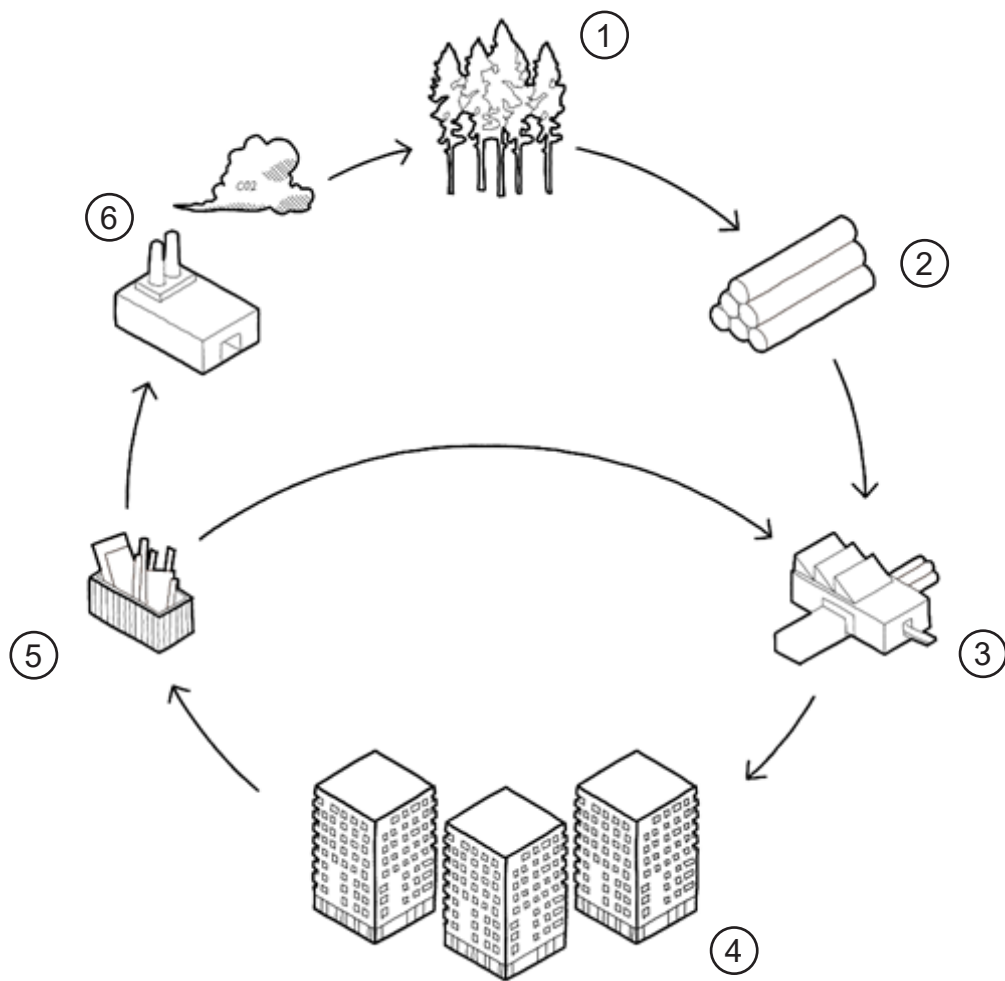
De acuerdo con Álvarez del Río, (2016), la prefabricación se relaciona con la sostenibilidad por su bajo consumo energético y baja emisión de gases de efecto invernadero (GEI) durante el proceso de fabricación de los paneles, ya que al ser originario de material orgánico, no emite CO₂, sino más bien lo almacena. (pp.20)

En la figura 5, se grafica a breves rasgos el ciclo de vida de la cuna a la cuna, frase atribuida al Arquitecto Walter Stahel, de un edificio en CLT antes, durante y después de su construcción.

- 1: Los bosques absorben el CO₂ de la atmósfera a través de fotosíntesis.
- 2: Los árboles son una fuente renovable de almacenamiento de carbón.
- 3: El proceso de manufactura típicamente utiliza todas las partes de la estructura, sin producir desperdicio y con muy poca contaminación.
- 4: Los edificios de madera son energéticamente eficientes y saludables para los ocupantes.
- 5: Los productos de madera pueden ser reutilizados o reciclados para crear nuevos productos.
- 6: La madera puede ser incinerada para biocombustibles, o biodegradada para incorporarse al medio ambiente.

A pesar de que el CLT es un material ampliamente usado en diversos países como Estados Unidos, Austria, España, Canadá, Chile o Japón; es un material desconocido en la construcción de Ecuador.

Figura 5. Ciclo de vida madera CLT



Fuente: Elaborado por los autores en base a *Construcción con madera CLT en el estudio Waugh Thistleton Architects*, por Santisteban, 2019. Tectónica (<https://tectonica.archi/articulos/construccion-con-madera-clt-en-el-estudio-waugh-thistleton-architects/>)

La Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-SE-MD (2015) en su sección 3.1.1, establece que la madera a usarse en construcción debe de ser original o derivado de bosques nativos, cuyo manejo se realice bajo un programa de manejo forestal sustentable, preferiblemente en plantaciones forestales cuyo volumen de aprovechamiento sea mínimo de 250 m³/ha. El presente proyecto tiene de base aspectos establecidos en la NEC – SE – MD: Estructuras de madera, en relación con el buen uso del recurso forestal para construcción, los parámetros de clasificación, valores de madera estructural y condiciones de ensayos. Para los ensayos mecánicos específicos de CLT, se tomará en cuenta las normativas UNE-EN 16351, UNE-EN 408 y ASTM D198.

1.5. Alcance

El presente proyecto de investigación pretende estudiar el comportamiento mecánico a compresión y flexión de CLT de CLT, elaboradas a partir de la combinación de maderas residuales obtenidas del sector primario y secundario de la provincia de Guayas, para muros interiores. Con la finalidad de aportar con materiales sostenibles a base de recursos naturales para elementos de construcción. Para ello se recolectará material residual de aserraderos en distintos cantones de la provincia del Guayas.

El procesamiento de la materia prima se realizará con la maquinaria disponible en la Planta de Ecomateriales perteneciente a la Unidad Académica y de Investigación de Ecomateriales (UAIE) de la Facultad de Arquitectura y Diseño de la UCSG. El pegado de las muestras se realizará con los pegantes aprobados por las normativas vigentes y que se encuentren disponibles. Una vez obtenidas las distintas muestras se realizará ensayos de flexión y compresión basados en las normativas accesibles a la fecha, siendo estas la UNE-EN 16351 y UNE-EN 408. Con los datos registrados de cada ensayo se procederá a comparar los resultados producidos con los encontrados en otras tesis de investigación del CLT en Latinoamérica y el mundo.

La presente investigación no pretende desarrollar estudios definitivos respecto a la caracterización física y mecánica del tablero CLT en el Ecuador, ni pretende establecer su factibilidad económica, comercial o estudio de mercado; más bien este trabajo se deja la puerta abierta para futuras investigaciones respecto a este tema.

La investigación permite una aproximación al estudio del tablero CLT, desarrollado con maderas recicladas, obtenidas de los centros madereros de la provincia del Guayas, en donde, por factores de tiempo y logística, esta aproximación nos lleva sintetizar y analizar la información respecto al CLT en la actualidad, identificar las características del CLT y determinar ciertas propiedades mecánicas del CLT, como la compresión y la flexión, a través de la generación de probetas para ensayos de laboratorio.

1.6. Contribución potencial del estudio

El estudio tiene la finalidad de aprovechar los residuos que genera la industria maderera, de algunos aserraderos y depósitos de madera de la provincia del Guayas, para generar una concientización en la industria maderera y en la sociedad, ya que, en la actualidad, el aumento progresivo de la explotación de los recursos forestales, así como su el mal manejo y poco eficiente aprovechamiento, ha llegado a niveles alarmantes, no solo a nivel nacional, sino

también internacional. Por ello, es necesario incorporar este tipo de residuos a una economía circular, donde no solo se reciclen, sino también se incorporen a un sistema económico que permita extender su vida útil, generar valor agregado, y finalmente obtener productos para la construcción que se puedan reciclar o incorporar al medio ambiente luego de cumplir su vida útil.

Que contribuya a la implementación de materiales para la construcción más ecológicos, a través un menor uso de maquinarias y de procesos de fabricación más amigables con el medio ambiente, propiciando la reducción de energía incorporada y, por lo tanto, de la huella de carbono.

Promulgar un pensamiento más crítico frente al mercado de la construcción, a través de la fabricación y uso de materiales más ecológicos. Y que las futuras generaciones puedan mejorar, e implementar nuevos enfoques en el uso de la madera, material que juega un papel importante en la construcción de edificaciones, no solo por sus características físicas y mecánicas, sino también, por su papel en nuestro medio ambiente.

1.7. Hipótesis

Los paneles de madera contra-laminada CLT elaborados a partir de maderas residuales de la provincia del Guayas, cumplen con los requisitos de resistencia según la norma UNE-EN 16351.

1.8. Pertinencia

El desarrollo científico de la propuesta del proyecto se encuentra vinculado con la sub-línea de vivienda y construcción sostenible, en la línea de investigación de Hábitat y Diseño de la UCSG definido por el Sistema de Investigación y Desarrollo (SINDE), la misma que se articula al Plan Nacional de Desarrollo (PND) 2021-2025.

Además, en coordinación con el Plan Estratégico de Desarrollo Institucional (PEDI) de la UCSG 2022-2026, y lo que considera la Constitución Política del Estado y la LOES, los mismos que orientan su oferta académica a las necesidades del desarrollo local, regional y nacional y con ello contribuyen con pertinencia al desarrollo del país.

El presente proyecto también se enlaza con el Eje Transición Ecológica objetivo 12. Fomentar modelos de desarrollo sostenibles aplicando medidas de

adaptación y mitigación al Cambio Climático del PND el mismo que plantea, la generación e implementación de un modelo económico circular busca el aprovechamiento sostenible y equitativo de los recursos, marcando un nuevo desafío en la “reducción, reutilización y el reciclaje”. La productividad y las prácticas amigables con la naturaleza requieren incentivar la innovación para la creación de nuevas tecnologías que optimicen su recuperación con métodos de producción eficientes, reduciendo los efectos del cambio climático.

El proyecto de investigación se alinea con los objetivos, 9: Industria, innovación e infraestructuras y 12: Producción y consumos responsables de la Agenda de Desarrollo Sostenible 2030 de la ONU. Dentro del objetivo 9, el proyecto se alinea con las metas 9.4, 9.5 y 9.b. Lo que respecta el objetivo 12, la investigación se alinea con las metas 12.2, 12.8 y 12.a.

La investigación se relaciona con la Agenda Hábitat Sostenible del Ecuador 2036, en sus capítulos Área de gestión 5: Conservación ambiental y Gestión sostenible de recursos y residuos; y Área de gestión 7: Economía, desarrollo local y fomento productivo. En el documento: Empoderando Ciudades para un Futuro Neto Cero de la Agencia Internacional de la Energía (AIE) 2021, En el Capítulo Oportunidades intersectoriales para ciudades sostenibles más inteligentes se menciona las soluciones de apoyo para la naturaleza, donde se busca capturar y almacenar el carbón del entorno construido mediante el uso de maderas de ingeniería para la construcción. Con herramientas digitales como diseño computacional y la implementación de gemelos digitales que apoyan la construcción de estructuras de madera alta que son renovables, eficientes y actúan como sumideros de carbono.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

El panel contra-laminado CLT tiene sus orígenes como sistema constructivo a principios de los años 90's primero en Austria donde se inició el CLT debido a la falta de aprovechamiento del recurso forestal de las zonas de estos países, y luego en Alemania. Empresas como PROHOLZ de Austria elaboraron tableros contra-laminados o panel contra-laminado (TCL o PCL), Cross Laminated Timber (CLT), X-lam, Panneaux de Bois Massif o Brettsperrholz (TCL). (Álvarez del Río, 2016) Los paneles de madera contralaminada se originaron en Austria como una forma de utilizar la madera de desecho producida al aserrar madera convencional. (Sanders, 2011)

Surge en los años 90 a partir de una tesis doctoral realizada en la Universidad de Graz (Austria) bajo la dirección del profesor Gerhard Schickhofer (Institute of Timber Engineering and Wood Technology). En ella, se investiga sobre la optimización de los residuos testeros, en aquel momento desechadas para usos residuales (triturado o biomasa). (Cuadrado Sanchez, 2020, p. 70). Patience & Murphy, (2014) explican que desde la década de los 90's este sistema constructivo en paneles de madera maciza, se ha ido implementando cada vez más, en proyectos residenciales por su facilidad de puesta en obra gracias a su prefabricación, su buen comportamiento mecánico, acústico, térmico y resistencia al fuego. La compañía maderera alemana Merk de Baviera, que desarrolló el CLT conocido como "Thick Wood", construyó el primer edificio de 3 plantas con CLT en Aichach durante 1995.

Por otro lado, Schickhofer et al., (2007) cuenta que se fabricaron tres puentes con CLT en Austria durante 1998, Feldbach, dónde se transportó todo el sistema en un camión de carga, compuesto de CLT, GLT (Glue-laminated timber) y hormigón armado para el tráfico peatonal. El puente Spielberg, compuesto por 19 capas de CLT para soportar tráfico vehicular y el puente Wandritsch en Styria, compuesto por una losa de CLT y estructura de acero para el tráfico vehicular. Su prefabricación minimiza los tiempos en obra lo cual es una gran ventaja para edificios de mediana y gran altura. El CLT es un sistema constructivo que ha servido de estructuras que van desde iglesias y graneros hasta edificios de apartamentos y oficinas de baja altura. Tal vez la más notable de estas estructuras es el edificio Stadthaus en el Reino Unido. El edificio Stadthaus es la estructura de madera de uso mixto más alta del mundo con ocho pisos de CLT construcción asentada en un piso de hormigón colado. (Wilson, 2012)

En el siglo XXI el CLT fue ganando fama gracias a sus buenas prestaciones estructurales y de peso, ya que, a diferencia del hormigón, la madera cuenta con un peso significativamente menor lo que beneficia a su sismorresistencia en un edificio. Por otro lado, la construcción ecológica fue experimentando un creciente impulso, lo que permitió la incorporación del CLT al mercado con una mayor facilidad. Adicional, el CLT incrementó su popularidad gracias a nuevas percepciones en torno a un sistema de construcción rígido, al igual que el hormigón. (Mohamad et al., 2016, como se citó en Álvarez del Río, 2016, p. 7) Actualmente existen empresas como FINSA y SEBASTIA en España, que cuentan con catálogos en líneas de soluciones constructivas en CLT. En Austria la empresa BINDERHOLTZ cuenta con manuales de construcción

en CLT, definiciones del producto, características de este y métodos de transporte.

Desde 2019 en Chile, el programa POLOMADERA promocionada y financiada por la Universidad de Concepción junto con la Corporación de Fomento de Producción (CORPO), promueven el uso del CLT como incentivo a la madera en la construcción, mediante la construcción de la torre UdeC, un edificio de 8 pisos destinado a oficinas. Acorde con el equipo, el proyecto cuenta con una superficie de 100 m², sistemas de cámara ventilada, sistemas de cámara ventilada y aislación, siendo sus muros más anchos, de unos 35 cm de espesor. (Zúñiga, 2019)

La Casa Biduído en Galicia, España en el año 2022, fue diseñada por Marta Trigás especialista en Passivhaus Designer y ejecutada en obra por Edm Casas, cuenta con planta baja y altillo. Este proyecto se trabajó con estructura de CLT en muros y forjados producido por FINSA. (edmcasas, 2021) Es necesario entender de manera mas amplia qué es el CLT y sus puntos más característicos del panel. Por ello se citan algunas definiciones descritas por diversos autores relacionados con la madera contralaminada.

Para Binderholz, empresa alemana productora de CLT BBS:

“CLT BBS se compone de varias capas, con una estructura completamente de madera maciza. Mediante el pegado de capas longitudinales y transversales se reduce el «trabajo» de la madera a un grado casi insignificante. De ese modo se cumplen con seguridad los requisitos para un material de construcción moderno. CLT BBS es un elemento prefabricado de madera maciza, con poder aislante térmico y al mismo tiempo, puede soportar cargas. Es seguro contra el fuego y tiene un buen efecto aislante del ruido”. (BINDERHOLZ, 2021a, p. 3)

De acuerdo con el Canadian CLT Handbook:

“Los productos CLT innovadores, como la madera laminada cruzada entrelazada (ICLT), están en proceso de desarrollo en algunos países. El CLT se puede fabricar a partir de madera aserrada, madera compuesta estructural (SCL) o una combinación de ambos. Una sección transversal de un elemento CLT tiene al menos tres capas pegadas de tableros colocados en orientación alternativa ortogonal a las capas vecinas. En configuraciones especiales, se pueden colocar capas consecutivas en la misma dirección, dando una doble capa (por ejemplo,

dobles capas longitudinales en las caras exteriores y/o dobles capas adicionales en el núcleo del panel) para obtener capacidades estructurales específicas. Los productos CLT se suelen fabricar con un número impar de capas; de tres a siete capas es común, incluso más en algunos casos”. (Karacabeyli & Gagnon, 2019, p. 5)

Por otro lado, existen normativas referentes a este tema:

La norma ANSI / APAPRG 320 – 2019 define a la madera contralaminada como:

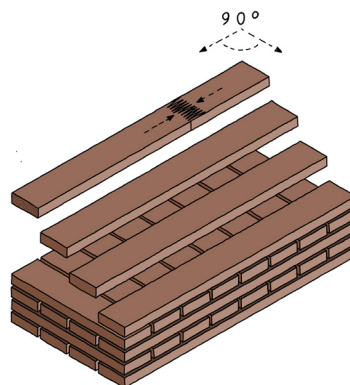
“Un producto de madera de ingeniería prefabricado hecho de al menos tres capas ortogonales de madera aserrada clasificada o madera compuesta estructural (SCL) que se laminan pegándolas con adhesivos estructurales”. (American National Standards Institute, 2019)

La norma UNE-EN 16351, versión 2021 define la madera contralaminada como:

“Madera contra-laminada (MCL): Elemento de madera estructural compuesto por al menos tres capas unidas por cara que comprenden laminaciones de madera maciza y pueden comprender paneles a base de madera, al menos una capa orientada ortogonalmente a las dos capas adyacentes.” (Asociación Española de Normalización, 2021)

La madera contra-laminada cruzada, es en conclusión un producto de madera maciza conformado por capas de tabloncillos dispuestos en dos direcciones a 90° capa por capa, mejorando su comportamiento estructural.

Figura 6. Composición de panel CLT



Fuente: Elaboración propia en base a *Construcción con madera CLT en el estudio Waugh Thistleton Architects*, por Santisteban, 2019, Tectónica (<https://tectonica.archi/articles/construccion-con-madera-clt-en-el-estudio-waugh-thistleton-architects/>)

2.2. Proceso de producción

Para la elaboración de paneles CLT se encuentran establecidos varios manuales como el American Handbook de FP innovations, Canadian CLT Handbook, los cuales se tomarán en cuenta para la fabricación de nuestros paneles.

Un proceso de fabricación típico para CLT incluye los siguientes pasos: selección de madera, inmunización o preservación, agrupación y cepillado de la madera, aplicación de adhesivo, colocación y prensado de paneles, corte del producto, mecanizado de superficies, marcado y embalaje. Se requieren estrictas pruebas de control de calidad en la planta para garantizar que el producto CLT final se ajuste a la aplicación prevista.

Las dimensiones del panel varían según el fabricante. Los paneles ensamblados generalmente se cepillan y/o lijan para obtener una superficie lisa al final del proceso. Los paneles se cortan a la medida y se realizan aberturas para ventanas, puertas, canales de servicio, conexiones y ductos, utilizando routers CNC (Control Numérico por Computadora), que permiten una alta precisión. (Karacabeyli & Gagnon, 2019, p. 10)

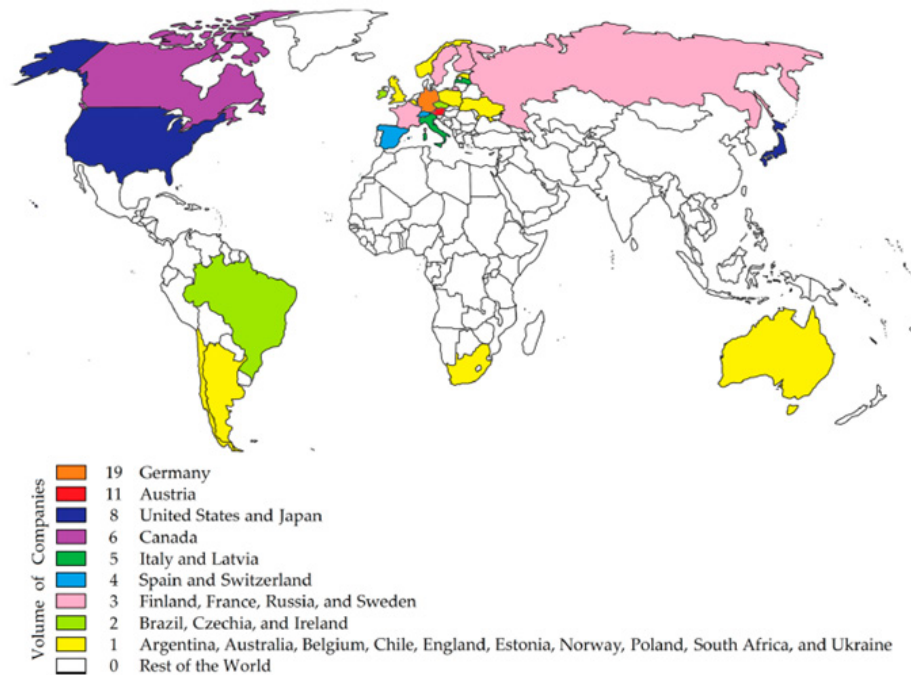
2.3. Panorama general del CLT

La lista sectorial especificó 98 fabricantes de madera contralaminada en marzo de 2023. Esta cuantificación expuso una industria global más numerosa, que es un 33% más grande en términos de número de empresas en comparación con el sector estimado. (De Araujo & Christoforo, 2023, pp. 10–11)

A nivel mundial, los desarrolladores de CLT ya están presentes en los cinco continentes, es decir, África, América, Asia, Europa y Oceanía. Sin embargo, la mayor parte de esta industria global se encuentra en los continentes europeos y americano, ya que ambas regiones contienen 70 y 18 productores, respectivamente. Europa representa el continente donde se identificó el mayor número de fabricantes de madera contralaminada. Allí se encuentran 70 productores. (De Araujo & Christoforo, 2023, pp. 10–11)

Las Américas presentan la segunda población continental más grande, donde 18 productores de CLT se distribuyen en cinco países, incluido dos países en el norte (Estados Unidos y Canadá) y en el lado sur (Chile, Argentina y Brasil). Asia ya incluye ocho productores de CLT, todos ubicados en Japón. Un productor de CLT está verificado en África, mientras que otra empresa se origina en Oceanía. (De Araujo & Christoforo, 2023, pp. 10–11)

Figura 7. Distribución de los fabricantes de CLT activos según sus orígenes a principios de 2023



Fuente: En base a *Distribution of active CLT manufacturers according their origins in early 2023*, de De Araujo & Christoforo, 2023. The Global Cross-Laminated Timber (CLT) Industry: A Systematic Review and a Sectoral Survey of Its Main Developers (<https://doi.org/10.3390/su15107827>)

2.4. Publicaciones por países para la industria CLT en la base de datos

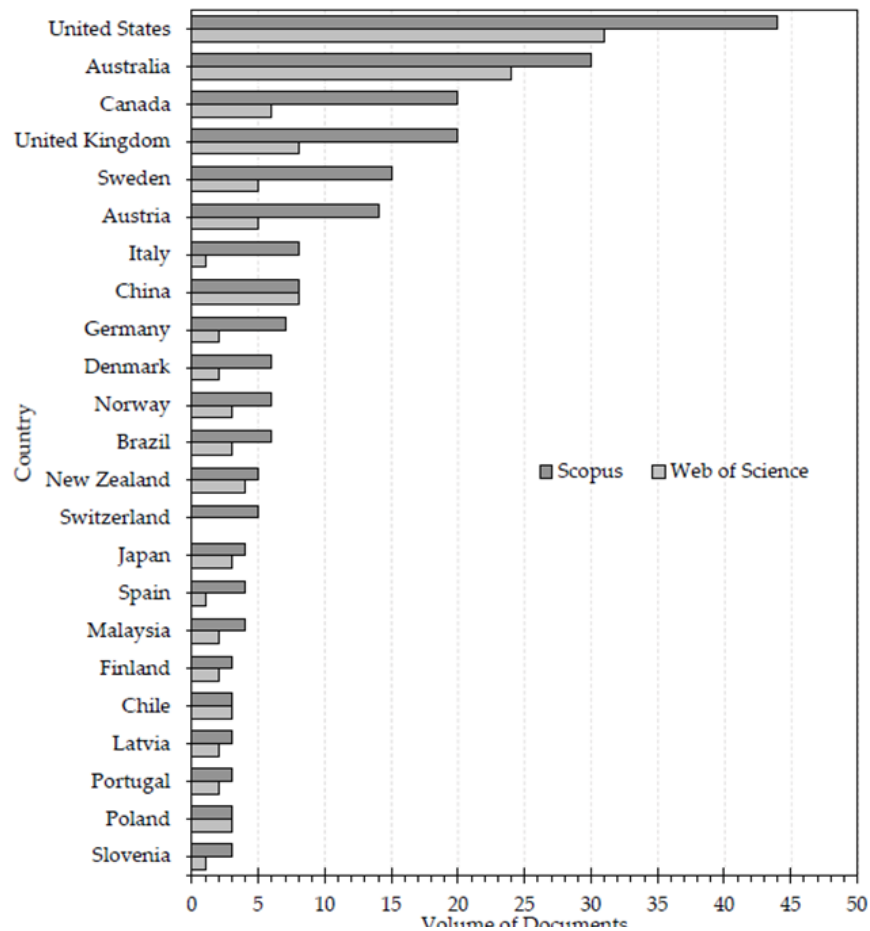
Se realizó un ranking de los principales investigadores del CLT, de los cuales se destacan 20 académicos que cumplen este criterio en el año 2023. Sylvain Gagnon, Shafayet Ahmed e Ingrid Arocho se encuentran entre los autores más activos que realizan estudios en Canadá y Estados Unidos. Además de estos países de América del Norte, Australia, el Reino Unido, Austria y Suecia se encuentran entre los países con el mayor número de publicaciones. (De Araujo & Christoforo, 2023, pp. 8–9)

Autores de latinoamericanas, como Brasil y Chile, también están presentes en las publicaciones contenidas en la condición general, que es más completa. Debido a una mayor especificidad. En vista de los resultados buscados para componer los argumentos de este estudio, la lectura del título y resumen de cada publicación permitió la categorización de sus principales objetivos y campos de estudio. (De Araujo & Christoforo, 2023, pp. 8–9)

Se constató el bajo número de publicaciones científicas dirigidas al estudio de la industria de la madera contralaminada. Debido a estos pocos documentos identificados en un nivel específico y al mayor volumen de documentos indexados por Scopus, se aplicó la categorización de los objetivos principales a aquellas publicaciones disponibles en Scopus para el nivel general. (De Araujo & Christoforo, 2023, pp. 8–9)

De esta manera, se pudo verificar que la mayoría de los documentos sobre madera contralaminada de este tipo más integral, a pesar del contexto industrial, estaban relacionados con usos de la construcción dentro de un análisis estructural, ambiental, sísmico, de diseño, productivo, técnico y económico. (De Araujo & Christoforo, 2023, pp. 8–9)

Figura 8. Poblaciones de los principales objetivos dirigidos por las publicaciones buscadas en el nivel general según la base de datos Scopus.



Fuente: En base a *Popularities of main goals addressed by publications searched for in the general level according to Scopus database.*, de De Araujo & Christoforo, 2023. *The Global Cross-Laminated Timber (CLT) Industry: A Systematic Review and a Sectoral Survey of Its Main Developers* (<https://doi.org/10.3390/su15107827>)

2.5. Proyectos en CLT

El programa de la Universidad de Concepción, Polomadera, que investiga y desarrolla soluciones sostenibles a partir de la madera, considerando sus dimensiones sociales, ambientales y económicas, han desarrollado un edificio de 8 pisos en CLT, que, a la fecha de la publicación de la noticia en 2019, se encontraba en fase de ingeniería.

El proyecto se realizó en un lapso de año y medio, se ubica en el campus de la Universidad y responde a la necesidad de incentivar el uso de la madera en Chile y demostrar las bondades del CLT frente a condiciones de alto riesgo sísmico. (Zúñiga, 2019)

La universidad de Bio-bio en Chile, desarrollo un proyecto de cinco pisos con el sistema constructivo CLT en su totalidad. Localizado en su campus en la ciudad de Concepción, posee un área de construcción de 130 m². El proyecto tiene como fin estudiar el comportamiento sísmico, humedad y cambios de temperatura de acuerdo con la región donde se emplaza. (Noticias UBB, 2020) Se construyó la Posada José Ignacio en octubre de 2018, el primer edificio de 3 plantas de Sudamérica. Se ubica en José Ignacio, Maldonado, Uruguay con un área de 1800 m² y un tiempo de construcción de 6 meses. Realizado por la constructora Enkel Group. Este proyecto tiene la capacidad de albergar 192 personas. (Madera21, s/f)

A continuación, se presenta en la Tabla 3, ejemplos de construcciones en CLT, mismas que no se ha encontrado más información de cada una.

Tabla 3. Lista de Edificios en CLT

N°	Nombre	Ciudad	Pais	Año	Superficie (m2)	Arquitectos	Destino
1	Dyson Institute	Wiltshire	Reino Unido	2019	32,00	Wilkinson Eyre	Vivienda
2	Minimod, Catucaba	Catucaba	Brasil	2015	42,00	MAPA	Vivienda
3	Minimod, Catucaba 2	Catucaba	Brasil	2015	42,00	MAPA	Vivienda
4	Casa 2020	Ortigosa	España	2014	60,00	Artiz Gonzalez	Vivienda
5	Kiterasu	Minawa	Japón	2017	70,00	OFA	Servicios
6	Pequeña Casa en el Ferry	Vinalhaven	Estados Unidos	2014	81,00	Go Logic	Vivienda
7	Multiply	Londres	Reino Unido	2018	114,92	Waugh Thistleton	Exhibición
8	Minimod Curucaca	Curucaca	Brasil	2018	120,00	MAPA	Vivienda
9	The Smile	Londres	Reino Unido	2016	136,00	Alison Brooks	Exhibición
10	Casa Escobar	San Pedro	Chile	2013	138,00	Paulina Escobar	Vivienda
11	Casa Atelier Jones	Seattle	Estados Unidos	2015	139,00	Atelier Jones	Vivienda
12	Oficinas Santo	Shiga	Japón	2017	139,00	Junichi Cato & Assoc.	Servicios
13	Casa Rave	Oudenaarde	Belgica	2014	172,00	Tom Maihue	Vivienda
14	Dos torres	Portschach am Worthersee	Austria	2016	172,00	Sonja Hohengasser & Juergen Wirsberger	Vivienda
15	Casa Sant Julia	Sant Cugat	España	2014	191,00	Alejandro Sainz, Marianne Verdoux	Vivienda
16	Casa Cats	San Bernardo	Chile	2015	180,00	Cecilia Poblete, Valentina Torres, Ignacio Rojas	Vivienda
17	Skilpod #150	Ham	Belgica	2016	280,00	Massimo Pignanelli	Vivienda
18	Centro Deportes Nauticos	Formentera	España	2019	345,00	Maria Castelo Martinez	Servicios

Fuente: García-Alvarado et al., (2021, p. 4)

2.6. Investigación y desarrollo del CLT en Latinoamérica

Una tesis de la facultad de ingeniería, realizada en la Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas realizó ensayos mecánicos-físicos en madera contralaminada (CLT) para mejorar propiedades estructurales en muros de madera. Según Llerena Pillaca & Paco Gomez, (2020) llegaron a la conclusión de que la especie *Cariniana doméstica*, presenta resultados óptimos en comportamiento mecánico (Resistencia a la flexión perpendicular al plano, Resistencia a la compresión paralela al plano, Resistencia a la compresión perpendicular a las fibras, Resistencia al esfuerzo cortante). Se tomaron datos de las probetas como humedad, que fueron de 23.75%, cumpliendo con los requisitos de la Norma Técnica Peruana NTP 51.010, que establecen una tolerancia porcentual de $22 \pm 2\%$. En el caso de la resistencia al corte, se pudo demostrar que se ve influenciado por el contenido de humedad, ya que a medida que la humedad es mayor la resistencia disminuye, provocando una ruptura más rápida a menor carga.

En Costa Rica se publicó un artículo en la Revista Forestal Mesoamericana Kurú donde se analizaron las propiedades físico-mecánicas de dos especies forestales maderables, procedentes de las plantaciones en dicho país. En el proyecto se estudiaron tratamientos de la superficie junto con el tipo de adhesivo, las especies a usar, módulo de elasticidad dinámico (moed), contenido de humedad (%ch), porcentaje de absorción de humedad (%ah), resistencia máxima a esfuerzo cortante y resistencia máxima a esfuerzo en compresión paralela. Las especies escogidas fueron *Tectona grandis* y *Gmelina*, aplicando un tratamiento de lijado con acetona en sus variables de adhesivos. Los mismos que fueron emulsión de polímero de isocianato (EPI) y acetato vinílico pre-catalizado modificado con 3 % de nanoarcilla (PVA-na). Según Sánchez-Machado et al., (2021), concluye que el tablero con la especie *Tectona Grandis* presenta un mejor comportamiento mecánico frente a esfuerzos cortantes y compresión paralela, con una densidad óptima para un tablero CLT.

La Universidad Nacional Noroeste de Buenos Aires Argentina, en concordancia con la agenda del II Congreso Latinoamericano de Estructuras de Madera/ II Congreso Ibero-Latinoamericano de la Madera en la Construcción, publicó un artículo científico para caracterizar paneles de CLT con pino de bajas propiedades mecánicas.

Para el proyecto se realizaron ensayos experimentales para la caracterización en flexión de los paneles según los requerimientos del anexo F de la norma EN 16351. La madera que se usó fue de *Pinus elliottii* y *Pinus taeda*, provenientes de raleos forestales. En la investigación, se diseñaron 5 prototipos de 3 capas, cada uno de 102x381x3000 mm de dimensión y encolados con adhesivo estructural de Emulsión Polímero Isocianato (EPI). La aplicación del adhesivo se realizó de forma manual, aplicando una cantidad promedio de 200 gr/m². La presión utilizada fue de 100 kg/cm² para la conformación del panel.

De acuerdo con Godoy et al., (2017), se concluyó que las bajas propiedades mecánicas del pino no afectan en la resistencia final del tablero, ya que se compensa con mayor volumen en su ensamblado. Las probetas de CLT resultaron con una resistencia a la flexión menor a la calculada en las 40 muestras de tablas de madera aserrada individuales, ya que se hizo un primer acercamiento de las propiedades de resistencia y rigidez de las maderas por separado. Se comprobó que la madera aserrada originaria de raleos forestales presenta bajas propiedades en comparación con maderas de calificación C14 en resistencia de acuerdo a la UNE-EN 338.

Actualmente, con el creciente aumento de interés en la elaboración de CLT por parte de las industrias de la construcción. Se han implementado empresas en Latinoamérica como en Chile, Brasil y Argentina; que se puede apreciar en la Tabla 2 Donde se indica el país, la ciudad y el nombre de la empresa, cada empresa trabaja con diversos productos relacionados con la madera y el CLT, sea para la elaboración de paredes, vigas y columnas. (De Araujo & Christoforo, 2023)

Tabla 4. Empresas que fabrican CLT en Latinoamérica

Compañía	Ubicación/País (ciudad)
Arauco	Arauco (Chile)
Crosslam	Suzano (Brasil)
Novak CLT	Neuquem (Argentina)
Urbem	Almirante Tamandaré (Brasil)

Fuente: Elaboración propia en base a De Araujo & Christoforo, (2023)

2.7. Variantes de CLT

Para ampliar la fuente de materias primas de CLT y mejorar las propiedades mecánicas de CLT, se ha desarrollado el HCLT, es decir, CLT compuesto por laminados de diferentes especies de madera, o compuesto por madera maciza aserrada y paneles compuestos estructurales. En comparación con la madera aserrada, la madera compuesta estructural (SCL) o los paneles estructurales a base de madera tienen mejores propiedades mecánicas y más fuentes de materias primas. El potencial del uso de bambú como laminación CLT ha llamado la atención en los últimos años con el desarrollo de CLT. (Wang & Yin, 2022)

En la investigación de De Mello Barreto et al., (2019), realizó un estudio para la producción de un compuesto lignocelulósico estructural de CLTB a base de madera de pinos pp y bambú (*Dendrocalamus giganteus*), misma que fue recolectada del Jardín Botánico de la ciudad de Londrina, Estado de Paraná, Brasil. La madera fue preservada con Cipermetina para el ataque de insectos y almacenada para que obtenga un nivel de 12% de humedad de acuerdo con NBR 11700 (1990) y ASTM D245 (2002). Según con la norma ASTM D905 (2008) se recomienda un espesor mínimo de 16 mm para paneles con bambú, pero para efectos del estudio, el equipo adaptó a 9 mm como espesor máximo de las capas.

Para el ensayo de corte de la línea de pegado, las muestras se agruparon en conjuntos con 13 unidades y de acuerdo con la materia prima (bambú y bambú o bambú y pino). En total, se produjeron 312 especímenes y se dividieron equitativamente en tres grupos de 104 especímenes por cada resina. Las resinas usadas para la investigación fueron; adhesivo bicomponente a base de aceite de ricino (Imperveg, Aguaí, Brasil), emulsión polimérica de isocianato y melamina-urea formaldehído con emulsificante líquido (Akzonobel, Guarulhos, Brasil), cuyo contenido fue de 100 g/m², 300 g/m², y 450 g/m², respectivamente. Todos los especímenes fueron pegados a una temperatura de 20 °C. También realizaron ensayos de flexión estática con paneles de dimensiones 900 × 320 × 27 mm, de tres capas con una configuración de bambú-madera-bambú. (De Mello Barreto et al., 2019)

La conclusión a la que llegó el equipo fue que el adhesivo con el mejor desempeño estructural fue la melamina-urea formaldehído (MUF) y de que la prueba de flexión estática de cuatro puntos en los paneles reveló un desempeño superior al requerido por la norma ANSI/APA PRG 320 (2012), lo que permite

visualizar una amplia aplicación estructural de este compuesto. (De Mello Barreto et al., 2019)

El estudio de madera laminada cruzada híbrida con bambú de Galih et al., (2020), se realizó ensayos de dos tipos de paneles CLT, uno con maderas tropicales (acacia-bambú) y otro con madera SPF abeto douglass de grado 2 según el manual canadiense. El panel CLT híbrido se conformó con tableros sólidos de una sola capa de Acacia mangium willd, de Indonesia y bambú (*Phyllostachys edulis*). El panel de CLT híbrido con maderas tropicales se configuró de madera como capas exteriores y el bambú como capa interior. El bambú obtenido para el estudio fue de 2440 mm x 1220 mm x 18 mm (largo x ancho x espesor), ya que es un tablero sólido de una sola capa, que sirvió como capa intermedia; mientras que la madera de acacia se obtuvo originalmente de 1000 mm x 90 mm x 30 mm (largo x ancho x espesor).

El adhesivo usado para conformar los tableros sólidos de una sola capa fue fenol-resorcinol formaldehído (PRF) de 59% de contenido sólido, un pH de 7.65 y 300 g/m³ de nivel de resina. Para el análisis de las características de resistencia del CLT híbrido tropical con madera-bambú-madera, se midieron la resistencia a la flexión y la resistencia al corte de acuerdo con los métodos de prueba estándar ASTM D 198 de pruebas estáticas de madera en tamaños estructurales, como se indica en APA PRG 320 2018. Las dimensiones del panel híbrido fueron de 1260 mm x 305 mm x 54 mm (largo x ancho x espesor) en pruebas de flexión y 270 mm x 305 mm x 54 mm (largo x ancho x espesor) en pruebas de cizalladura. El panel de CLT SPF se dimensionó de 2440 mm x 89 mm x 38 mm (largo x ancho x espesor). (Galih et al.,2020)

Para ambos paneles, tanto CLT híbrido como CLT SPF se usó adhesivo poliuretano monocomponente (Purbond HB S709). Para las comparaciones entre CLT híbrido y CLT SPF se midieron en ambos Modulo de Elasticidad (MOE) y Modulo de Rotura (MOR). Se llegó a la conclusión que en la prueba de resistencia a la flexión el híbrido tropical CLT presentó un MOE 2,76 veces mayor que el del SPF CLT; el MOR del híbrido tropical CLT fue 1,37 veces mayor que el del SPF CLT, y en la prueba de resistencia al corte se mostró que el módulo de corte paralelo al grano y el corte de rodadura del CLT híbrido tropical fueron 0,8 veces más bajos que los del SPF CLT. Esto depende del factor de la tabla de bambú. (Galih et al.,2020)

Dong et al., (2023), realizaron pruebas de paneles CLTB con capa madera de dimensión abeto-pino-abeto SPF n.º 2 de Canadá (de acuerdo con las normativas norteamericanas) y cañamazo de bambú de China bambú Moso (*Phyllostachys edulis*) de 3 a 4 años, producido por Fujian Chiyu Bamboo Industry Co., Ltd. en Fujian, China. En las capas externas se usó el bambú y la capa interna la madera de SPF. Usaron tres tipos de adhesivos poliuretano de un componente (PUR), isocianato de polímero en emulsión (EPI) y fenol resorcinol formaldehído (PRF), para evaluar las influencias del tipo de adhesivo, la tasa de dispersión del adhesivo, la presión de sujeción y el tiempo en el rendimiento de unión de CLTB y obtener los parámetros de fabricación óptimos, en el contexto de China. Se prepararon nueve paneles CLTB de tres capas de 420×420×60mm (longitud × ancho × espesor), donde se extrajeron de cada una treinta y seis bloques de 60×60×60mm, 324 muestras de bloques CLTB. El estudio concluyó que los parámetros óptimos de fabricación de CLTB fueron adhesivo de fenol resorcinol formaldehído (PRF), con una tasa de aplicación de adhesivo de 250 g/m², presión de sujeción de 1,0 MPa y tiempo de sujeción de 420 min, respectivamente. El PRF produjo un mejor rendimiento de unión que EPI y PUR en este estudio, especialmente en condiciones húmedas o de ebullición.

No solo se varia la especie de madera o recurso maderable en investigaciones sobre CLT, sino también sobre su armado y origen de la materia prima, tal como es el caso del ICLT (Interlocking Cross Laminated Timber).

De acuerdo con Smith, (2011), el panel ICLT es un panel prefabricado de pared y techo de madera maciza laminada cruzada hecha a partir de 2-7 capas de madera de pino de dirección alterna de 3" x 6" a 3" x 8" fresada a partir de residuos de madera de pino muerto atacado por el escarabajo de pino de montaña *Dendroctonus ponderosae*, muy común en los bosques del oeste de Estados Unidos y México. La investigación sobre ICLT como variante del CLT se ha llevado a cabo desde 2005 por la Universidad de Columbia Británica, con motivo de dar uso al residuo de madera de baja calidad de pino muerto por ataque del escarabajo. La madera de baja calidad tiene una pendiente de fibra más alta y puede contener nudos más grandes. Este tipo de paneles no necesita de adhesivos ni sujetadores mecánicos, emplean la unión en cola de milano en enclavamiento y laminado cruzado. Una de las grandes ventajas del sistema ICLT es que un ICLT el panel se puede desmontar después de su vida útil y las piezas de madera individuales son una vez más un recurso reutilizable. (Payne et al., 2023)

Figura 9. Sección de longitudinal de panel ICLT con unión de cola de milano



Fuente: En base a *interlocking cross laminated timber*, por Gines et al., 2022, methodstudio (<https://method-studio.com/interlocking-cross-laminated-timber/>)

Figura 10. Vista de panel ICLT con unión de cola de milano



Fuente: En base a *interlocking cross laminated timber*, por Gines et al., 2022, methodstudio (<https://method-studio.com/interlocking-cross-laminated-timber/>)

La tesis de investigación de Wilson, (2012), estudiaron las resistencias axiales, de flexión y de tracción paneles ICLT de 8 pies (2,44 m) de ancho, 8 pies (2,44 m) de alto y 8,5 pulgadas (21,6 cm) de espesor para pared. Las pruebas que realizó fueron de carga lateral en el plano, carga fuera del plano y carga vertical en el plano. La tesis concluyó que la prueba de carga fuera del plano tendría que realizarse en paredes con diferentes disposiciones de los miembros de cola de milano dentro de la pared y entre sí. Esto sería determinar si tener tableros de cola de milano no adyacentes entre sí aumentaría de hecho la flexión fuerza de los paneles; las pruebas con diferentes tipos de carga también beneficiarían la comprensión de resistencia total a la flexión de los

paneles; las pruebas de carga vertical en el plano tendrían que realizarse con tolerancias más estrictas para tratar de eliminar la excentricidad y los efectos de orden secundario en los paneles. Debería realizarse pruebas adicionales en paneles de pared con ventanas y puertas recortadas. Estas pruebas y observaciones ayudarían a refinar y validar el conjunto simplificado de modelos desarrollado.

En el estudio de Payne et al., (2023), realizaron ensayos cuatro especímenes de pared de cortante de madera laminada cruzada entrelazada a escala real 1:1 bajo una secuencia de carga cíclica para determinar el comportamiento histerético bajo carga lateral y para determinar el efecto del anclaje. Se utilizaron dos tipos de secciones transversales de riostra de entrada (rectangular y en cola de milano). Sus dimensiones fueron de 3,05 m de alto por 2,44 m de largo por 288 mm de ancho, con especímenes fabricados por Euclid Timber. El muro usó capas interiores verticales de abeto Douglas secado al horno de 102 mm de espesor, capas exteriores machihembradas (T&G) y riostras de entrada horizontales. Se puede observar en la figura 11 los tipos de riostras usados en los especímenes de prueba.

Figura 11. Llaves de entrada. a) Cola de milano b) riostra rectangular



(a)



(b)

Fuente: En base a *Let-in braces*, por Payne et al., 2023. Cyclic tests of interlocking cross laminated timber shear walls (<https://doi.org/10.52202/069179-0280>)

Se examinaron dos tipos de configuraciones de anclaje distribuidas (conexiones convencionales y de tipo de extracción). Se compararon muros de corte sin anclaje de extremo (sujetadores) con muros de corte con sujetadores de correa de calibre 14 y calibre 12. Todos los especímenes resistieron con éxito la carga cíclica hasta aproximadamente un 2,5 % de deriva del piso sin una degradación significativa de la resistencia y la rigidez. Los muros con anclaje distribuido tipo retirada aumentan la resistencia lateral frente a los muros con

la configuración convencional de anclaje distribuido. Los resultados sugieren que los muros de cortante de madera laminada cruzada entrelazados pueden ser un sistema lateral viable en áreas sísmicas, siempre que se proporcionen suficientes anclajes distribuidos y en los extremos. (Payne et al., (2023)

2.8. Madera estructural aserrada

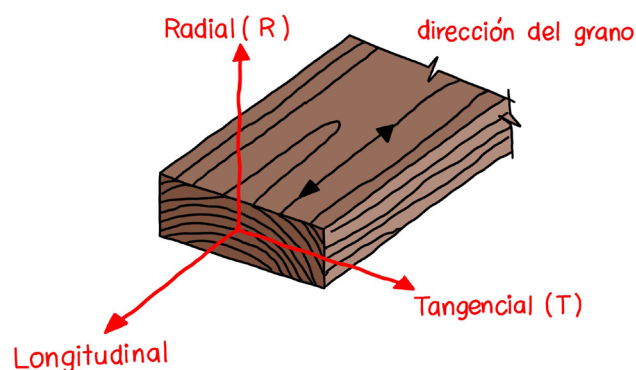
2.8.1. Maderas tropicales

De acuerdo con PADT REFORT/JUNAC, (1984), las maderas tropicales se clasifican en dos grandes grupos; latifoliadas y coníferas, en función de la estructura microscópica del tejido leñoso. La diferencia significativa entre latifoliadas y coníferas es la presencia de traqueidas y parénquima. Las coníferas presentan traqueidas en un 80 a 90% del volumen de la madera, con menor cantidad de células de parénquima, pero mayor cantidad de vasos o poros a diferencia de las latifoliadas, donde solo se presenta entre un 6 a 50%. Las latifoliadas o frondosas, en cambio presentan menor cantidad de vasos o poros, no tiene traqueidas, contiene mayor cantidad de parénquima y fibras, lo que le otorga este último, mayor resistencia mecánica a la madera. Otra característica es que en las latifoliadas se puede distinguir el duramen con la albura, mientras que en las maderas coníferas no se observa esa distinción.

2.8.2. Propiedades resistentes de la madera

El Manual de Diseño PADT REFORT/JUNAC, (1984) explica que existen tres direcciones ortogonales entre sí en la madera los cuales son longitudinal, tangencial y radial. Reconocer estas direcciones es importante para el análisis de fuerzas de la pieza de madera. Para la madera se consideran solo dos de esas direcciones, longitudinal o paralela a la fibra y transversal o perpendicular a la fibra. Las principales propiedades resistentes de la madera son: resistencia a la compresión paralela al grano, la compresión perpendicular al grano, la flexión, tracción y corte paralelo al grano.

Figura 12. Direcciones ortogonales de la madera



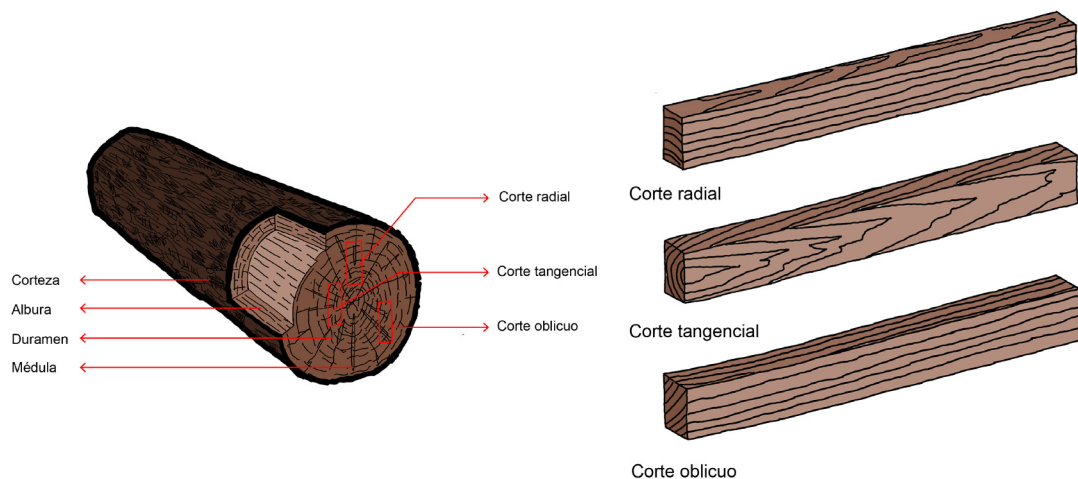
Fuente: Elaboración propia en base a *Direcciones ortogonales de la madera* (p.1-21), por Manual de diseño de Grupo Andino, 1984, Junta del Acuerdo de Cartagena PADT-REFORT.

2.8.3. Partes y corta de un tronco

Para entender la madera visualmente, es necesario conocer las partes y tipos de cortes que se realizan al tronco o troza del árbol. De acuerdo con el Manual de Diseño PADT REFORT/JUNAC, (1984), la troza se puede cortar de tres maneras: tangencial, perpendicular y oblicuo. El primero se refiere a un corte en algún punto tangente de los anillos de crecimiento.

El segundo, es un corte perpendicular a los anillos siguiendo la línea de radio de la circunferencia del tronco, el resultado final es un corte radial. El tercero y último se refiere a un corte que se realiza en dirección arbitraria, sin seguir una ortogonalidad. Se sugiere para madera estructural aserrar la madera radialmente, para reducir los defectos por secado. En el proceso de aserrado de la madera, el corte no suele ser preciso al 100%, por lo que, para un corte radial se considera que los anillos tengan un rango entre 60 a 90° de ángulo en relación con la cara mayor de la pieza. Para un corte tangencial se considera un rango entre 0 a 30° y un corte oblicuo entre 30 a 60°. (PADT REFORT/JUNAC, 1984)

Figura 13. Partes del tronco y tipos de corte

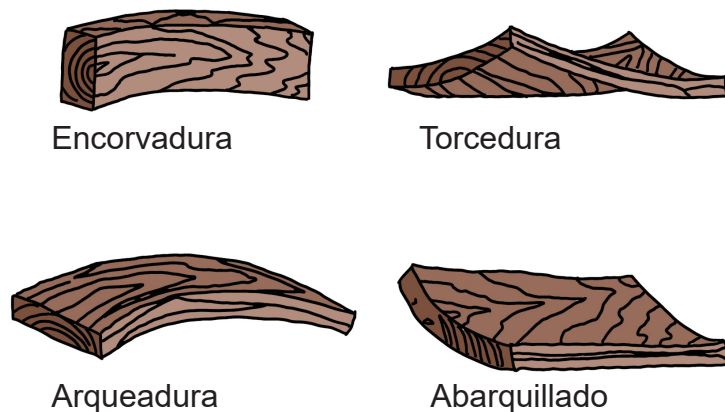


Fuente: Elaboración propia en base a *Términos usados en la definición de defectos y presentación de la norma de clasificación visual* (p.3-13), por Manual de diseño de Grupo Andino, 1984, Junta del Acuerdo de Cartagena PADT-REFORT.

2.8.4. Defectos Originados por el Secado

Así como explica el Manual de Diseño PADT REFORT/JUNAC, (1984), la humedad en la madera no es uniforme en toda su masa, la parte céntrica contiene mayor humedad, mientras que las capas externas contienen menor cantidad. Esto debido al flujo de humedad, nutrientes, desde la médula hacia el exterior es mayor en el centro y menor en la parte exterior. La velocidad del flujo se mide en función de la diferencia de CH (Contenido de Humedad) entre ambas zonas. Los principales defectos que se producen en la madera son alabeos, colapsos, debido a las contracciones que sufre en el proceso de secado. Cuando las tensiones se exceden entonces se puede producir rajaduras y grietas. En la Figura 14 se observan defectos típicos en la madera.

Figura 14. Deformaciones producidas al secar lo madera



Fuente: Elaboración propia en base a *Deformaciones producidas al secar lo madera* (p.2-10), por Manual de diseño de Grupo Andino, 1984, Junta del Acuerdo de Cartagena PADT-REFORT.

2.8.5. Clasificación visual de la madera

El manual de diseño para maderas del grupo andino define una serie de defectos, deformaciones, peculiaridades, a tomar en cuenta para calificar la madera a utilizar en los proyectos basados en madera estructural. Cualquier irregularidad o imperfección que afecta las propiedades físicas, químicas y mecánicas de una pieza de madera puede considerarse como un defecto. (PADT REFORT/JUNAC, 1984)

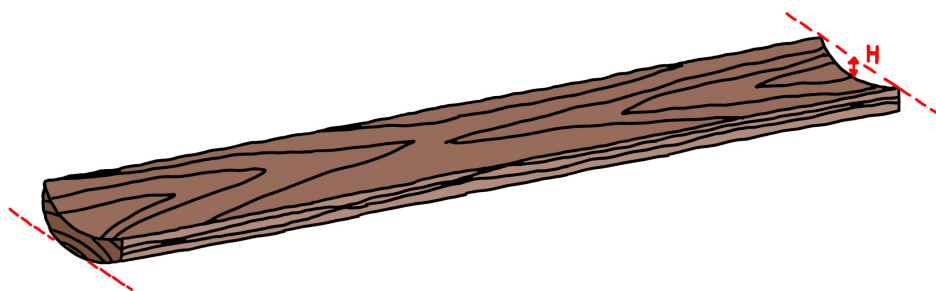
2.8.5.1. Alabeo

El alabeo es la deformación que se produce en elementos de madera como vigas o tablas. La madera tiende a curvarse en alguno de sus ejes, ya sean longitudinales, transversales o en ambos. Algunas de las deformaciones por alabeo son las siguientes: abarquillado, arqueadura, encorvadura y torcedura.

2.8.5.2. Abarquillado

El abarquillado es el alabeo de la madera cuando las aristas o bordes longitudinales no se encuentran al mismo nivel que la zona central. Se suele reconocer este defecto, colocando la pieza sobre una superficie plana o bien nivelada, mostrando concavidad o aspecto de barquillo. Se tolera hasta 1% del ancho de la pieza. (PADT REFORT/JUNAC, 1984)

Figura 15. Abarquillado

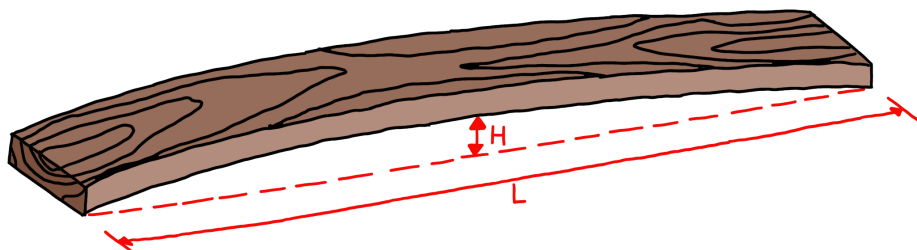


Fuente: Elaboración propia en base a *Abarquillado*, (p.3-17), por Manual de diseño de Grupo Andino, 1984, Junta del Acuerdo de Cartagena PADT-REFORT.

2.8.5.3. Arquadura

Es la curvatura que se produce a lo largo de la cara. Es el alabeo o curvatura a lo largo de la cara de la pieza. Se reconoce el defecto colocando el elemento de madera sobre una superficie plana o bien nivelada, un espacio entre la cara apoyada y la superficie. Se permite que tenga 1 cm por 300 cm de longitud o una tolerancia de acuerdo con la equivalencia $H/L < 0.33\%$. (PADT REFORT/JUNAC, 1984)

Figura 16. Arquadura

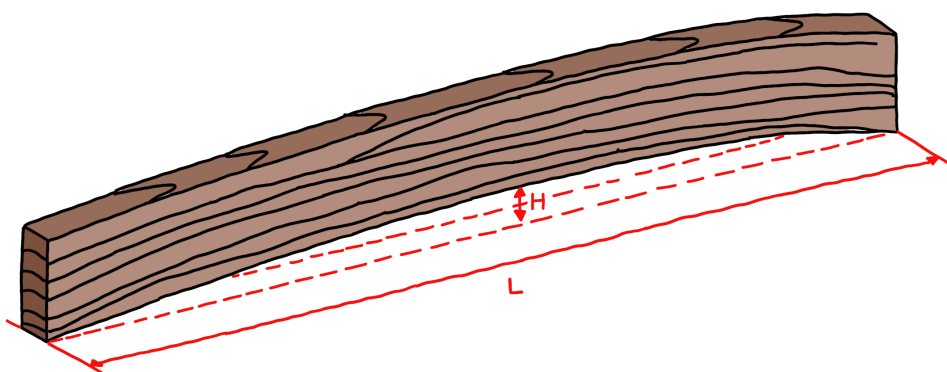


Fuente: Elaboración propia en base a *Arquadura*, (p.3-17), por Manual de diseño de Grupo Andino, 1984, Junta del Acuerdo de Cartagena PADT-REFORT.

2.8.5.4. Encorvadura

Es la curvatura que experimenta el elemento a lo largo del canto de la pieza. Se reconoce el defecto colocando el lugar de curvatura de la pieza sobre una superficie plana o bien nivelada, para ser medido. Se permite una tolerancia de 1 cm por cada 300 cm de longitud o una tolerancia de acuerdo con la equivalencia $H/L < 0.33 \%$. (PADT REFORT/JUNAC, 1984)

Figura 17. Encorvadura

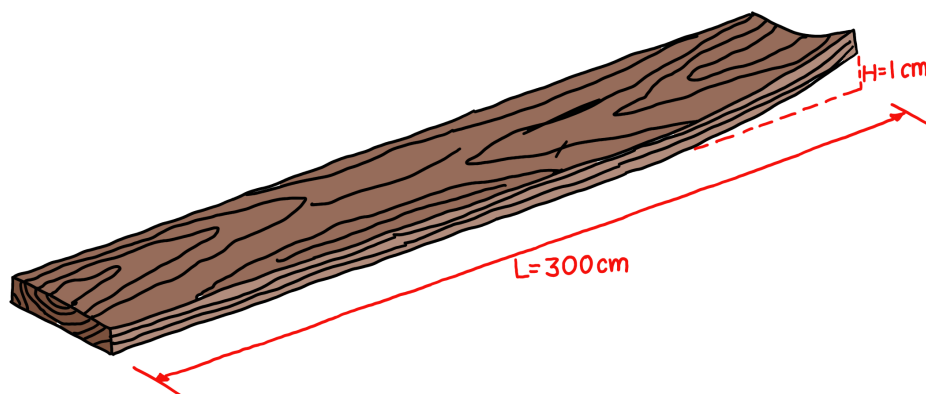


Fuente: Elaboración propia en base a *Encorvadura*, (p.3-18), por Manual de diseño de Grupo Andino, 1984, Junta del Acuerdo de Cartagena PADT-REFORT.

2.8.5.5. Torcedura

La torcedura se refiere a la curvatura de una de las esquinas de la pieza de madera. Se reconoce el defecto colocando la pieza sobre una superficie plana o bien nivelada, mostrando el levantamiento de la esquina deformada en diferentes direcciones. Se permite una tolerancia de 1 cm de alabeo por torcedura, muy leve, para un elemento o pieza de 3 m, y solamente en una de sus esquinas. (PADT REFORT/JUNAC, 1984)

Figura 18. Torcedura

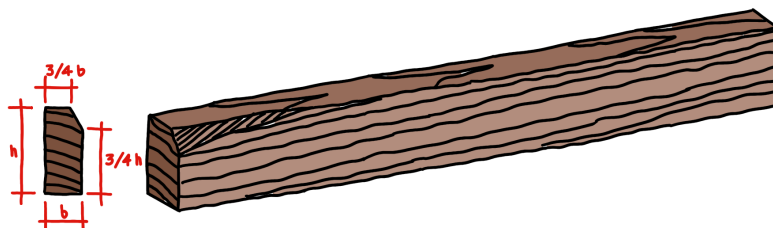


Fuente: Elaboración propia en base a *Torcedura*, (p.3-18), por Manual de diseño de Grupo Andino, 1984, Junta del Acuerdo de Cartagena PADT-REFORT.

2.8.5.6. Arista faltante

Como su nombre indica es un porcentaje de madera faltante en alguna de sus aristas. Se reconoce a simple vista. Se permite que una sola de sus aristas sea afectada. Las dimensiones de la cara y el canto donde falta la arista deberán ser por lo menos los $\frac{3}{4}$ de las respectivas dimensiones de la sección completa. (PADT REFORT/JUNAC, 1984)

Figura 19. Arista faltante

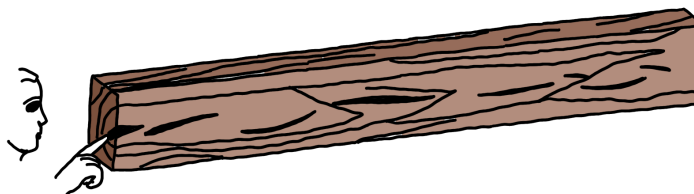


Fuente: Elaboración propia en base a *Arista faltante*, (p.3-19), por Manual de diseño de Grupo Andino, 1984, Junta del Acuerdo de Cartagena PADT-REFORT.

2.8.5.7. Duramen quebradizo

Se refiere al momento cuando el duramen presenta grietas, producto de la actividad aserradora. El duramen es la parte más interna del árbol, de tonalidades oscuras, formando parte de su estructura, no es permeable a sustancias orgánicas como resinas, taninos, aceites y por ende es el de más durabilidad. Se reconoce cuando las grietas son de medialuna en una zona de 10 cm aprox., cercana a la médula. Es más frecuente en árboles viejos y puede presentar deterioro. No se admite ninguna tolerancia en absoluto. (PADT REFORT/JUNAC, 1984)

Figura 20. Duramen quebradizo



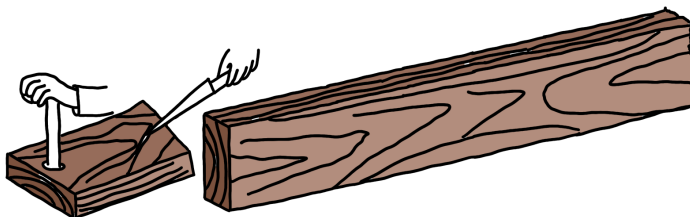
Fuente: Elaboración propia en base a *Duramen quebradizo*, (p.3-19), por Manual de diseño de Grupo Andino, 1984, Junta del Acuerdo de Cartagena PADT-REFORT.

2.8.5.8. Escamadura

Se refiere a la separación que se produce en el elemento de madera, siguiendo las líneas de los anillos de crecimiento. Se reconocen como escamas superficiales en las caras tangenciales de una pieza de madera. Su tolerancia se permite en las caras si es paralela al eje de la pieza, de una profundidad menor de 1/10 del espesor y una longitud no mayor de 1/4 de la longitud total.

(PADT REFORT/JUNAC, 1984)

Figura 21. Escamadura o acebolladura

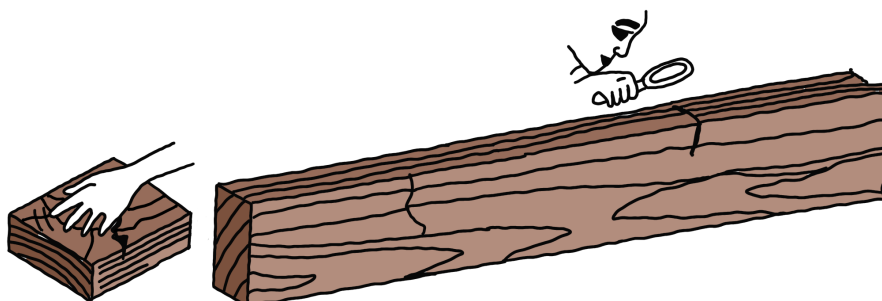


Fuente: Elaboración propia en base a *Escamadura o acebolladura*, (p.3-19), por Manual de diseño de Grupo Andino, 1984, Junta del Acuerdo de Cartagena PADT-REFORT.

2.8.5.9. Fallas de compresión

Son deformaciones y roturas de fibra de la madera, producto de grandes esfuerzos de compresión y flexión, a los que se somete un árbol en pie, por su propio peso. También puede ser causado por acción del viento. El corte, apeo o una mala práctica de apilado de la madera aserrada, pueden ser otras causantes de tales fallas. Se reconocen como pequeñas líneas o arrugas perpendiculares al grano de la pieza y es fundamental identificar estas fallas ya que disminuyen las capacidades mecánicas de la madera. Se presenta en árboles que tienen el tallo y fuste muy ahusado o cónico. No se admite ninguna tolerancia en absoluto. (PADT REFORT/JUNAC, 1984)

Figura 22. Fallas de compresión

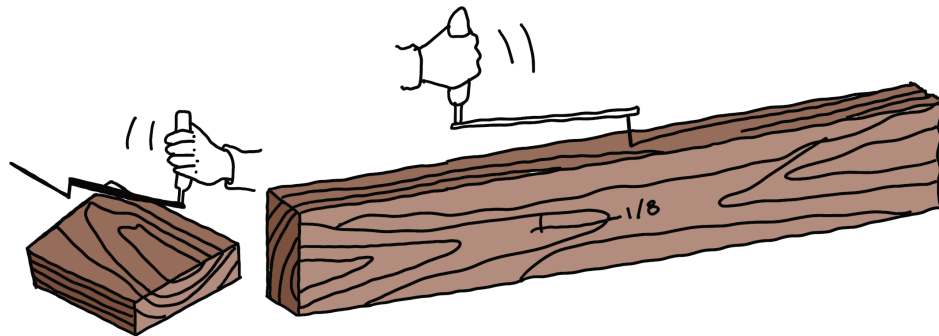


Fuente: Elaboración propia en base a *Fallas de compresión*, (p.3-20), por Manual de diseño de Grupo Andino, 1984, Junta del Acuerdo de Cartagena PADT-REFORT.

2.8.5.10. Grano inclinado

Se refiere a cuando existe una desviación angular de las fibras de la madera en relación con el eje longitudinal del elemento o pieza de madera. Se reconoce usando un detector de grano sobre las caras y cantos del elemento. Se admite una tolerancia de $1/8$ máximo de inclinación en la cara o canto. (PADT REFORT/JUNAC, 1984)

Figura 23. Grano inclinado

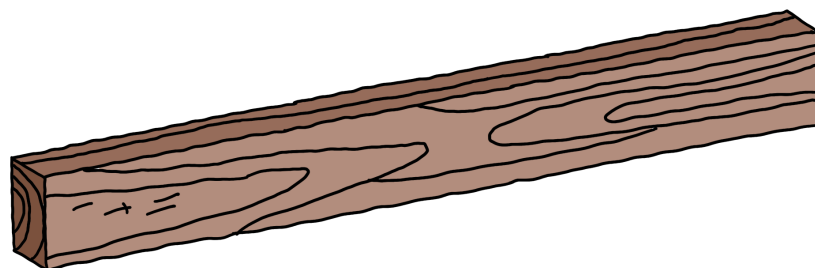


Fuente: Elaboración propia en base a *Grano inclinado*, (p.3-20), por Manual de diseño de Grupo Andino, 1984, Junta del Acuerdo de Cartagena PADT-REFORT.

2.8.5.11. Grieta

Una grieta es una ruptura en los elementos de la madera en dirección radial y longitudinal, pero es superficial sin afectar dos caras de una pieza, o dos puntos opuestos de la superficie de una madera rolliza. Se reconoce como una separación aproximada de 1 mm y no mayor de 2 a 3 mm de profundidad. Por lo general se produce en los procesos de secado de la madera. Se admite una profundidad moderada de no mayor a $1/4$ del espesor de la pieza, sumando las profundidades desde ambos lados. (PADT REFORT/JUNAC, 1984)

Figura 24. Grieta

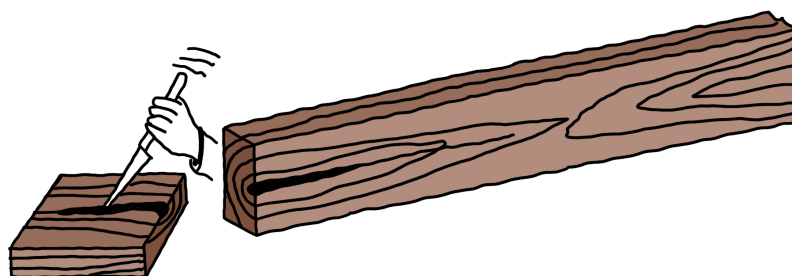


Fuente: Elaboración propia en base a *Grieta*, (p.3-21), por Manual de diseño de Grupo Andino, 1984, Junta del Acuerdo de Cartagena PADT-REFORT.

2.8.5.12. Médula

La médula como parte de la estructura interna del tronco es la parte central del duramen constituida esencialmente por parénquima que transporta sustancias nutritivas hacia la médula, tejido generalmente blando o células muertas. Se reconoce en piezas o elementos de madera como la pequeña zona de tejido esponjoso situada en el centro. Esta área es susceptible a ataques de insectos u hongos. No se admite ninguna tolerancia en absoluto. (PADT REFORT/JUNAC, 1984)

Figura 25. Médula



Fuente: Elaboración propia en base a *Médula*, (p.3-21), por Manual de diseño de Grupo Andino, 1984, Junta del Acuerdo de Cartagena PADT-REFORT.

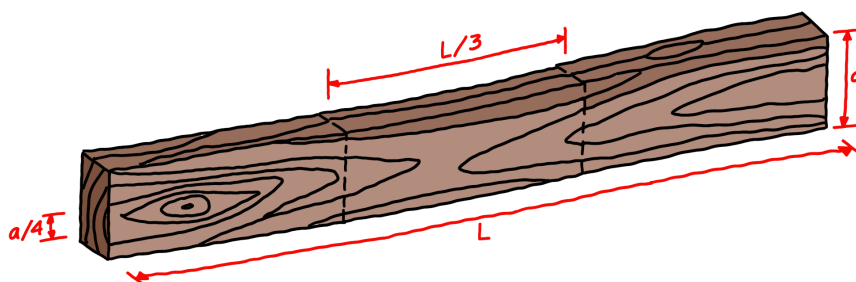
2.8.5.13. Nudo

El nudo o nudos son zonas del elemento o pieza, donde se ha dejado porciones de ramas o tejido leñoso de propiedades organolépticas diferentes a la madera, producido por el rastro dejado por el desarrollo de una rama. Se consideran 3 tipos de nudos: nudo sano, nudo hueco y nudos arracimados. (PADT REFORT/JUNAC, 1984)

2.8.5.14. Nudo Sano

El nudo sano es aquel donde no se aflojará o soltará la porción de rama durante los procesos de secado. Se reconoce cuando no presenta pudrición ni deterioro. Se admite una tolerancia de hasta en un diámetro de $1/4$ del ancho de la cara con un máximo de 4 cm y con un distanciamiento entre nudos mayor de 100 cm. Evitar en lo posible que la zona central tenga esas porciones de ramas. (PADT REFORT/JUNAC, 1984)

Figura 26. Nudo sano

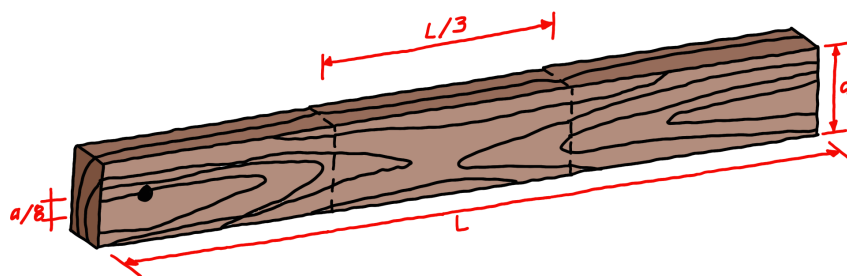


Fuente: Elaboración propia en base a *Nudo sano*, (p.3-22), por Manual de diseño de Grupo Andino, 1984, Junta del Acuerdo de Cartagena PADT-REFORT.

2.8.5.15. Nudo Hueco

Se denomina nudos huecos aquellos espacios dejados por los nudos al desprenderse de la madera. Se los reconoce cuando presenta deterioro el nudo o existe nudo suelto. Se admite una tolerancia de un diámetro de $1/8$ del ancho de la cara y hasta un máximo de 2 cm. Evitarlos en cantos sometidos a tracción. (PADT REFORT/JUNAC, 1984)

Figura 27. Nudo hueco

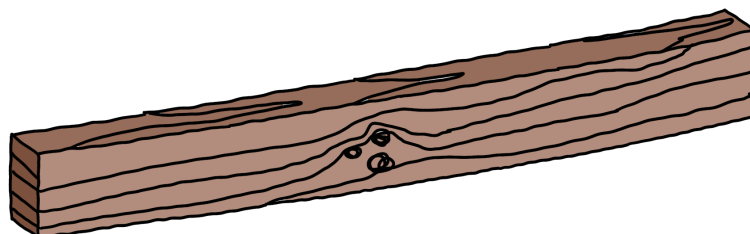


Fuente: Elaboración propia en base a *Nudo hueco*, (p.3-22), por Manual de diseño de Grupo Andino, 1984, Junta del Acuerdo de Cartagena PADT-REFORT.

2.8.5.16. Nudos Arracimados

Se los reconoce cuando los nudos desvían ligeramente la dirección de las fibras que los rodean. No se admite ninguna tolerancia en absoluto. (PADT REFORT/JUNAC, 1984)

Figura 28. Nudo arracimados

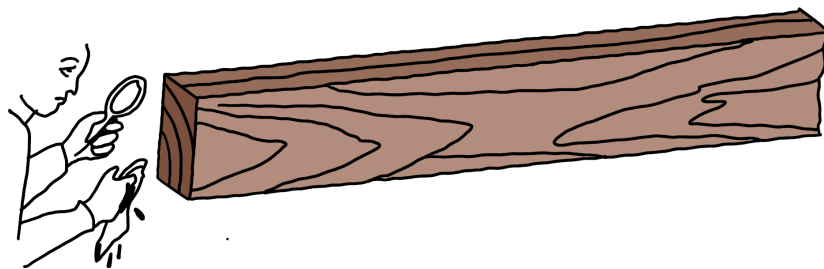


Fuente: Elaboración propia en base a *Nudo arracimados*, (p.3-22), por Manual de diseño de Grupo Andino, 1984, Junta del Acuerdo de Cartagena PADT-REFORT.

2.8.5.17. Parénquima

Son un tipo de células, aparte de las traqueidas, que su función principal es de transportar y almacenar sustancias nutritivas como resinas, gomas, desde la corteza hacia la médula formando radios medulares. Se reconocen como tejidos blandos de colores claros en la fibra. Al ser blandos son mayormente susceptibles al ataque de hongos e insectos. Se distribuyen en bandas concéntricas y son visibles a simple vista en la sección transversal de la pieza de madera previamente humedecida. Si la madera estará sometidas a esfuerzos de compresión paralela al grano, no es admisible estas bandas. Para otros usos si se permite. Se recomienda que las bandas parenquimatosas no deben ser mayores de 2 mm de espesor. (PADT REFORT/JUNAC, 1984)

Figura 29. Parénquima



Fuente: Elaboración propia en base a *Parénquima*, (p.3-23), por Manual de diseño de Grupo Andino, 1984, Junta del Acuerdo de Cartagena PADT-REFORT.

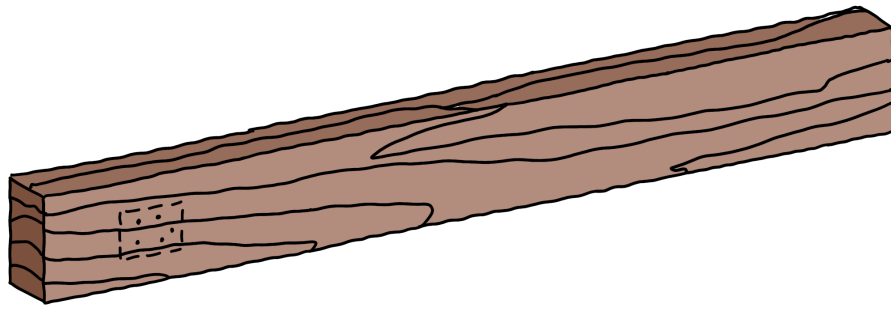
2.8.5.18. Perforaciones

Las perforaciones se producen por ataques de insectos o larvas, y son agujeros o galerías en la pieza notables. Se consideran 2 tipos de perforaciones: pequeñas y grandes. (PADT REFORT/JUNAC, 1984)

2.8.5.19. Perforaciones pequeñas

Se reconocen como agujeros de diámetros de 3 mm aproximadamente. Insectos tipo *Lyctus* no se aceptan. Se admite una tolerancia de máximo 100 en 100 cm² no alineados ni pasantes, cuando su distribución es moderada y comprende una zona menor que un 1/4 de la longitud total de la pieza. (PADT REFORT/JUNAC, 1984)

Figura 30. Perforaciones pequeñas

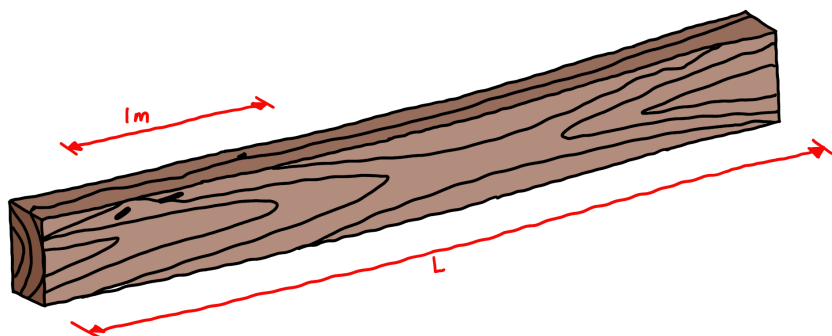


Fuente: Elaboración propia en base a *Perforaciones pequeñas*, (p.3-23), por Manual de diseño de Grupo Andino, 1984, Junta del Acuerdo de Cartagena PADT-REFORT.

2.8.5.20. Perforaciones grandes

Se reconocen como agujeros mayores de los 3 mm de diámetros. Se producen mayormente por insectos o larvas perforadoras tipo "brocas de los domicilios", Bostrychidae. Se admite una tolerancia de 3 agujeros por metro líneas, no alineados ni pasantes, cuando su distribución es moderada y superficial. (PADT REFORT/JUNAC, 1984)

Figura 31. Perforaciones grandes

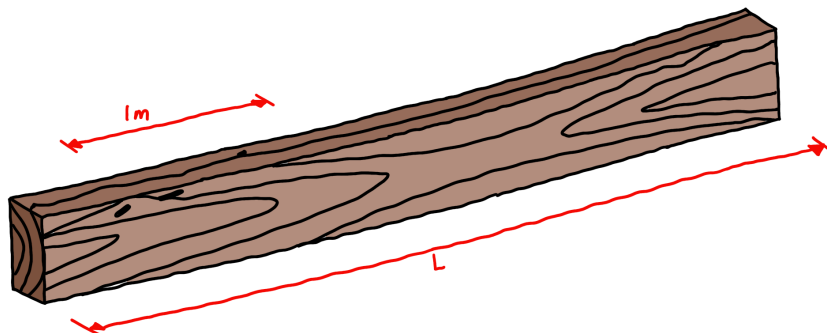


Fuente: Elaboración propia en base a *Perforaciones grandes*, (p.3-24), por Manual de diseño de Grupo Andino, 1984, Junta del Acuerdo de Cartagena PADT-REFORT.

2.8.5.21. Rajaduras

Las rajaduras son separaciones o grietas naturales que profundizan dentro de la madera, presentándose en ambos lados o ambas caras de la pieza. Afecta totalmente el espesor del elemento. Se reconocen como separaciones del tejido en dirección del grano. Se admite una que se presente solo en uno de sus extremos y a una longitud no mayor al ancho o cara de la pieza. (PADT REFORT/JUNAC, 1984)

Figura 32. Rajaduras



Fuente: Elaboración propia en base a *Rajaduras*, (p.3-24), por Manual de diseño de Grupo Andino, 1984, Junta del Acuerdo de Cartagena PADT-REFORT.

2.9. Requisitos de madera estructural

La normativa UNE-EN 338 clasifica la madera en función del tipo de árbol, ya sea coníferas o frondosas (duras). Se clasifican las coníferas de acuerdo con ensayos de flexión en el canto y tracción; siendo valores en resistencia, rigidez y densidad. Las maderas frondosas solo se clasifican según ensayos de flexión en el canto.

El número de la clase resistente corresponde al valor característico del 5% percentil del módulo de elasticidad correspondiente, ya sea en flexión del canto o a tracción. Según la norma UNE-EN 338: “un sistema de clases resistentes reagrupa calidades, especies y procedencias que tengan propiedades de resistencia similares, haciéndolas de esta forma intercambiables, permite al calculista prescribir una clase resistente determinada y utilizar los valores característicos de dicha clase para el diseño y el cálculo”. (Asociación Española de Normalización, 2017)

Conforme estipula la norma NTE INEN 2580:2011, la madera aserrada para uso estructural debe de ser dura con una densidad promedio de 0,71 g/cm³, aunque también se admiten maderas semiduras con una densidad básica superior a 0,56 g/cm³ e inferior a 0,70 g/cm³.

En este sentido se estipula en la norma que las maderas para uso estructural deben de estar bien conformadas sin ningún tipo de defecto originado por el crecimiento natural del árbol, aserrado o cualquier otro proceso como el secado artificial. (Norma Técnica Ecuatoriana, 2011)

2.10. Calidad de la madera aserrada

La norma NTE INEN 2580:2011 clasifica la madera aserrada dentro de 4 categorías: A, B, C y D.

Las maderas tipo A son aquellas que presentan las mejores características de aserrado, condiciones físicas y mecánicas, y de sanidad. De esta categoría la densidad debe de ser de media a alta, es decir, mayor a 0,71 g/cm³.

El tipo B son las que presentan ciertas fallas de sanidad (ataques de insectos, hongos, etc.), físicas, mecánicas a lo largo de las piezas, pero que se pueden corregir para aprovechar al máximo la mayor parte. Este tipo de madera son las que generan desperdicio en el proceso de reaserrado. Deben de ser de densidad media a alta, es decir, mayor que 0,55 g/cm³ y menor que 0,70 g/cm³.

El tipo C es muy parecido los parámetros que el tipo B en cuanto a que las maderas presenten fallas que se pueden corregir. Su densidad debe de ser mayor a 0,40 g/cm³ y menor a 0,54 g/cm³

La última categoría, tipo D, se refiere a maderas que presentan defectos físicos y mecánicos muy difíciles de corregir, por lo que no son aptas para ser empleadas en procesos de reaserrado y terminado. Estas se usan como encofrado y son de densidad baja, es decir menor o igual a 0,40 g/cm³. (Norma Técnica Ecuatoriana, 2011)

2.11. Normas entorno al CLT

Las normas para la fabricación y control de calidad del CLT se encuentran en España a través de las normas UNE-EN de la Asociación Española de Normalización (AENOR) en conjunto con la AITIM (Asociación de Investigación de las Industrias de la Madera).

Para la AITIM las maderas óptimas para el desarrollo del CLT son: píceas (*Picea* spp.), abeto (*Abies* spp.), pino (*Pinus* spp.), alerce (*Larix* spp.) siendo la madera más usada la píceas (*Piceas abies*).

En Estados Unidos y Canadá se basan en las normas ANSI, ASTM para pruebas de calidad del material.

De acuerdo con en la norma ANSI / APAPRG 320, en su sección 6.1.2, estipula el uso de maderas blandas o combinaciones de especies que sean aprobadas por el Comité Estadounidense de Estándares de Madera (ALSC)

según PS 20. En su anexo A, la norma establece las especies que de orden obligatorio se deben de usar para cumplir con los valores diseño de referencia ASD para laminaciones utilizadas en grados básicos de CLT: maderas de píceas, pino y abeto.

Las normas de construcción de madera en Chile establecen de preferencia al pino radiata como especie idónea para estructuras en madera, ya que, según datos del Banco Mundial, (2020), aproximadamente el 70% de la madera industrial producida en Chile proviene de bosques plantados con certificaciones de manejo sustentable. Mismos que cubren una superficie aproximada de 2.3 millones de hectáreas, el cual el 56% corresponde a pino radiata y 38% a eucalipto. En esas normas se establecen los requerimientos para la Clasificación mecánica y visual de madera aserrada de pino radiata para madera laminada encolada en la norma NCh2150.Of89 modificada en 1991. La norma NCh2165:1991 establece los valores de tensiones admisibles para la madera laminada encolada estructural de pino radiata. En Ecuador se tiene como norma la NEC-SE-MD-Estructuras-Madera que está basado en su mayoría del Manual De Diseño Para Maderas Del Grupo Andino por la Junta del Acuerdo de Cartagena (JUNAC) que establece los parámetros para ensayos, características, aplicaciones y cualidades de las maderas.

2.12. Características y selección de material para CLT

De acuerdo con revisión bibliográfica encontramos que la especie de madera más usada por empresas productoras de CLT es el pino silvestre, pino radiata, pino rojo, abeto, especies de coníferas. De acuerdo con SEBASTIA CLT, (2021), las especies de madera aserrada que usan para la producción de CLT son pino rojo y abeto blanco de los pirineo. La materia prima proviene de la actividad silvicultural controlada mediante bosques de cultivo como definen, renovándolos en cada corta garantizando su continuidad. Según BINDER-HOLZ, (2021b), empresa austriaca fabricante de CLT establece dos tipos de panel contra-laminado CLT, que son el CLT BBS 125 de abeto, alerce, pino piñonero, abeto blanco y CLT BBS XL de madera de abeto. Como empresa establecen dos productos en base a criterios de calidades visuales del panel final y su tratamiento superficial. Generalmente se usa madera de pino, del tipo coníferas, que especifican las normas tanto europeas como americanas sobre el CLT.

La norma UNE-EN 16351 menciona las siguientes especies de madera, en función del contexto local en España: Abeto de Noruega (*Picea abies*, PCAB), Abeto blanco (*Abies alba*, ABAL), Pino silvestre (*Pinus sylvestris*, PNSY),

Abeto de Douglas (*Pseudotsuga menziesii*, PSMN), Cicutita occidental (*Tsuga heterophylla*, TSHT), Pino Negro (*Pinus nigra* spp., PNNG), Alerce europeo (*Larix decidua*, LADC), Alerce siberiano (*Larix sibirica*, LASI), Alerce dahuriano (*Larix gmelinii* (Rupr.) Kuzen.), Álamo (*Populus* spp., POER), Pino marítimo (*Pinus pinaster*, PNPN), Pino radiata (*Pinus radiata*, PNRD), Picea de Sitka (*Picea sitchensis*, PCST), pino amarillo del sur (*Pinus palustris*, PNPL), Cedro rojo occidental (*Thuja plicata*, THPL) y Cedro amarillo (*Chamaecyparis nootkatensis*, CHNT).

El equipo de trabajo concluyó que el pino es la madera de referencia, de acuerdo con sus propiedades y características, para seleccionar las maderas locales con similares atributos.

Tabla 5. Características Pino

Especie de madera utilizada en España par fabricación de CLT				
Especie	Crecimiento	Densidad	Disponibilidad de mercado	Lugar de siembra
Pino rojo (<i>pinus silvestris</i> L.)		510	De exportación estable, gran demanda en España. Fácil suministro.	Asia, Europa, EE.UU

Fuente: Elaboración propia en base a Levantinadeparquets, (2018); y Sanite, (2016)




Las especies maderables del Ecuador, se establece el capítulo 6.2. Apéndice informativo de la NEC-SE-MD: Caimitillo (*Chrysophyllum cainito*), Chanul (*Humiriastrum procerum*), Chimi (*Pseudolmedia laevigata*), Eucalipto (*Eucalyptus globulus*), Fernán Sanchez, Muchín (*Triplaris guayaquilensis*, *Triplaris* sp), Guayacán pechiche (*Minquartia guianensis*), Jíbaro (*Pithecellobium latifolium*), Laguno (*Vochysia macrophylla*), Mascarey, Laguna (*Hieronyma choensis*), Moral fino (*Chlorophora tinctoria*), Pacora (*Cespedezia spathulata*), Piaste (*Guarea* sp), Pino insigne (*Pinus radiata*), Pituca (*Clarisia resemosa*), Romerillo azuceno (*Podocarpus oleifolius*), Romerillo fino (*Podocarpus rospiglosii*), Sande (*Brosimum utile*), Seique (*Cedrelinga catenaeformis*), Tangama (*Parkia* sp), Yumbingue (*Terminalia amazonia*).

La tabla 6 muestra algunas de las especies maderables de la región costa. En la tabla 5 se puede observar datos del pino rojo, que es la especie de madera idónea en ensamblado de CLT, para comparar con otras especies en función de su densidad, nivel de riesgo, disponibilidad, crecimiento y lugar de siembra. Para la elaboración de la tabla 6 de maderas, el grupo de investigación se basó en el Catálogo de madera Estructural de Ecuador, realizado en 2018 por el Grupo de Investigación de la Escuela de Arquitectura. Laboratorio de

Arquitectura, Tecnologías y Procesos LAT de la Universidad del Azuay, datos de fichas técnicas de Ecuador forestal (<https://ecuadorforestal.org/>), datos de fichas del ministerio del ambiente en conjunto con la FAO, investigaciones de artículos, tesis, la lista roja de especies amenazadas (<https://www.iucnredlist.org/es>) y estudio de campo a pequeñas y grandes industrias. La inclusión del bambú en el proyecto de investigación se debe a su aplicación en investigaciones de CLT en el mundo siendo su variable denominada CLTB, sus características, su disponibilidad en el territorio y su sostenibilidad. En la Planta de Ecomateriales se ha trabajado con el bambú en la elaboración de tableros ecu-bam, plas-bam y ester-bam.

Tabla 6. Lista de especies de maderas analizadas

N°	Especie	Crecimiento	Densidad (Kg/m ³)	Nivel de Riesgo	Disponibilidad de Mercado	Lugar de Siembra
1	Bambú (<i>Guadua Angustifolia</i> Kunt GaK)	Rápido	430	Preocupación menor. Tendencia de población desconocida	D	Esmeraldas, Guayas, Los Ríos, Manabí, Santa Elena
2	Balsa (<i>Ochroma Pyramidale</i>)	Rápido	120	Preocupación menor. Tendencia de población: estable	D	Galápagos, Los Ríos, Manabí, Napo y Pastaza
3	Cedro (<i>Cedrela odorata</i> L.)	Medio	380	Vulnerable. Tendencia de población: decreciente.	P.D	Esmeraldas, Manabí, Guayas, Loja, Napo, Pichincha y Tungurahua
4	Fernán Sánchez (<i>Triplaris cumingiana</i>)	Rápido	530	Preocupación menor. Tendencia de población: estable	D	El Oro, Esmeraldas, Galápagos, Guayas, Loja, Los Ríos, Manabí, Morona Santiago y Galápagos
5	Teca (<i>Tectona grandis</i> L.f)	Medio	530	Peligro crítico. Tendencia de población: decreciente	D	Esmeraldas, Manabí, Santo Domingo, Los Ríos, Guayas El Oro, Galápagos y Napo
6	Laurel De La Costa (<i>Cordia alliodora</i> (Ruiz & Pav.) Oken)	Medio	390	Preocupación menor. Tendencia de población: desconocido	D	Esmeraldas, Manabí, Los Ríos, Guayas, El Oro, Galápagos, Morona Santiago, Napo y Pastaza
7	Pachaco (<i>schizolobium parahybum</i>)	Medio	400	N.I	D	Quevedo y Quindé
8	Chanul (<i>humiristrum procerum</i>)	Lento	690	Vulnerable. Tendencia de población: decreciente	P.D	Carchi y Esmeraldas

Aptas  Aptas, pero sobrepasan densidad de pino  No aptas 

D: Disponible
P.D: Poco Disponible
N.D: No Disponible
N.I: No Información

Fuente: Elaboración propia en base a Ecuador forestal (<https://ecuadorforestal.org/>); lista roja de especies amenazadas (<https://www.iucnredlist.org/es>); Ministerio del Ambiente del Ecuador & Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, (2014); Espinosa et al., (2018); Córdova Alcívar, (2014) y Sánchez Escobar, (2020)

2.13. Gestión de residuos

El reciclaje tiene dificultades en ciudades con bajos recursos como sistema adecuado para manejo de residuos sólidos, debido que otras ciudades incorporan programas integrales más complejos que comprenden la reutilización, la reducción, el reciclaje y la disposición final de desechos. (Navarrete-Hernández, 2016)

Se puede destacar que la creación de empresas de reciclaje puede dar paso generación de puestos de trabajo y la creación ingresos que una renta que la empresa privada tradicional no podría hacer. Dando paso a un negocio que en el futuro generaría rentabilidad. (Arévalo & Gómez, 2011)

El reciclaje de madera actualmente es una acción muy importante debido a que se reduce la tala de árboles, la conservación del ambiente. Donde la deforestación es uno de los principales factores del calentamiento global, el reciclaje nos permite experimentar con un sin número de posibilidades que nos permite ayudar a los ecosistemas. (Arriols, 2018) Una estrategia de crecimiento económico es el reciclaje de los residuos principalmente de madera, donde pueden surgir pequeñas empresas que reutilicen los residuos. (Caisa Yucailla et al., 2020) Como se detalla en el desarrollo del documento, las empresas madereras visitadas gestionan sus residuos en venta de sacos de aserrín, quema de material, venta de virutas, retazos, o simplemente se regala el desperdicio de la actividad aserradera.

En la empresa Madertrop envían el desecho hacia una caldera donde se genera energía para la planta. El desperdicio de la madera en general se encuentra dentro del grupo de biomasa lignocelulósica destinada al biocombustible, la cual es una fuente de energía renovable que aporta a la sustentabilidad. (Alava Escalante, 2023)

La maderera Tiffany por su parte, gestiona sus residuos quemándolo en su terreno, lo cual contribuye a las emisiones de CO₂ al ambiente según como comenta Torres Gordón, (2022).

Se debe de tomar en cuenta el aprovechamiento del material residual resultado de las actividades a seguir para la elaboración de un panel CLT propuesto en esta investigación, por lo cual se contemplan algunas ideas que se podrían implementar para establecer al CLT como material sustentable:

- También se podría contemplar implementar una línea de objetos para el hogar a base de residuos de madera tal como proponen Torres Gordón, (2022), donde hace uso del desperdicio de listones, sobras de madera sólida, para el diseño de sillas y adornos para el hogar.
- Una gran oportunidad que se presenta en el aprovechamiento de residuo de madera, podría ser la elaboración de revestimientos tal como propone Eider Edison, (2022) con baldosas a base de 20 % residuos de madera y 80% plástico y concluyo que esta línea de negocio es viable por su bajo costo e impacto ambiental.
- El desperdicio generado contribuiría también al negocio de los aglomerados o tableros de OSB de partículas.
- Los residuos se podrán destinar a la generación de biocombustible tal como hacen algunas empresas.

Las empresas que fabrican CLT en su plan de trabajo presentan el manejo de residuos producto de la producción de madera aserrada, laminada y CLT.

Según BINDERHOLZ, (s/f):

“La cadena de valor de binderholz se rige por el principio de cero residuos. Conforme a este principio, la materia prima madera es aprovechada al 100%. binderholz procesa los troncos suministrados en su práctica totalidad, convirtiéndolos en madera aserrada, tableros de madera maciza y para la construcción, madera laminada encolada y CLT BBS. Los restos de madera generados por la producción, tales como cortezas, leños cortados, astillas o virutas de serrado y cepillado se procesan para convertirlos en biocombustibles en forma de pellets y briquetas o se transforman en energía térmica y electricidad verde en centrales térmicas de biomasa propias. Esto cuida los valiosos recursos y permite una producción climáticamente neutra sin residuos conforme el principio de cero residuos”.

Según SEBASTIA CLT, (2017):

“Convertimos residuos como serrín y astillas de madera en biocombustibles. Generamos también agua caliente para calefacción en nuestra

propia central de biomasa.”

Según Finsa, (2021):

“El consumo de energía térmica está asociado a los procesos de secado de las partículas o fibras de madera húmeda, por contacto con los gases calientes, que se generan en las calderas y en las plantas cogeneración...gestionamos y reciclamos madera para fabricar nuevos materiales en nuestras fábricas e investigamos y apostamos por nuevas tecnologías de reciclaje. Además, disponemos de más de 720 contenedores propios de recogida y en 2021 se reutilizaron 470.592 Ton de reciclado como materia prima (407.294 Ton en 2020) lo que supone un incremento de un 17% respecto al valor del año anterior”.

Según Arauco, (2021):

“En el negocio celulosa, ARAUCO logra una revalorización de sus residuos industriales no peligrosos a través de diferentes procesos de transformación, los cuales permiten la utilización del producto final generado en distintos ámbitos productivos, como la elaboración de hormigones y cementos; mejorador de suelos y pH en predios forestales y agrícolas, y la elaboración de fertilizantes y microfertilizantes...En el caso del negocio de maderas, se trabaja en la revalorizar la corteza (residuos orgánicos) de sus procesos productivos”.

2.14. Aspectos e Implementación Forestal en Ecuador

Existen proyectos de reforestación que promueven el desarrollo maderero del país, ejecutado por el Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca (MAGAP), a través de la Subsecretaría de Producción Forestal. Dichos proyectos defienden el propósito de abastecer con materia prima a la industria maderera y reducir la tala indiscriminada del bosque nativo. El objetivo es acelerar el desarrollo de la forestación en el país y ayudar a ampliar nuevas industrias y productos para sustituir las importaciones. (Universidad Estatal del Sur de Manabi et al., 2019, p. 21) Desde hace muchos años se viene señalando la importancia creciente de la vegetación secundaria en los trópicos americanos (Silva Matos et al., 1999) y la tendencia de las especies de rápido crecimiento y baja densidad de madera que prosperan en los bosques de segundo crecimiento para constituirse en el recurso maderable del futuro (Vargas, 2008, como se citó en Universidad Estatal del Sur de Manabi et al., 2019). Los bosques secundarios son también de considerable importancia ecológica, en términos de crecimiento forestal, acumulación de biomasa, beneficios hidrológicos y de la biodiversidad. (Sardinero, 2000)

La conservación de la diversidad biológica es un elemento que ha venido ganando relevancia en nuestra sociedad, en particular los estudios biológicos de la flora constituyen una pieza clave dentro de las estrategias de conservación y manejo de los recursos genéticos forestales. (FAO, 2004) A pesar de que los gobiernos e instituciones trazan acciones encaminadas a estos, son muy reducidos los estudios a nivel de especies, poblaciones y ecosistemas que garantizan la implementación de las estrategias de conservación. (Grijalva et al., 2012; Indacochea Ganchozo, 2013)

Para el desarrollo de plantaciones forestales sustentables, se realizó una investigación donde se pudo determinar la escasa documentación sobre el manejo forestal en el Ecuador. Tomando como punto de partida el Sistema Nacional de Control Forestal del año 2016 (MAE, 2016), que menciona varios puntos para el correcto manejo de plantaciones forestales y las dificultades que presentan en los sistemas forestales.

Se establece un objetivo general que busca promover la conservación y el manejo sostenible de los recursos naturales mediante la reducción del tráfico de la vida silvestre, maderas y busca promover la reducción de los incendios forestales a través del Sistema Nacional de Control Forestal (SNCF).

Los objetivos específicos que proponen son:

- La implementación de cargos fijos para controlar y verificar la legalidad de productos forestales y vida silvestres que son movilizados en el país.
- Poner en funcionamiento unidades móviles de control forestal para controlar y verificar la legalidad de productos forestales y vida silvestres que son movilizados en el país.
- Poner en funcionamiento equipos de auditores para comprobar los programas de manejo forestal otorgados por el Ministerio de Ambiente (MAE) y su verificación de destino final.
- Integrar un equipo de asesores forestales para proporcionar asesorías técnicas a pequeños propietarios de bosque nativo. Con el fin de forestar y reforestar especies nativas respetando la protección a nivel nacional.
- Implementación de medidas para reducir los incendios forestales a través de alternativas que no utilicen el fuego en la Costa y Sierra.

De acuerdo con MAE, (2016), a nivel nacional se aprovecha principalmente especies provenientes de plantaciones forestales ubicadas en la región sie-

ra y la región costa. Las especies que mayormente se aprovechan en cada región son el eucalipto y el pino en la región sierra principalmente, mientras que la balsa, el pachaco, la melina y la teca, son especies aprovechadas de plantaciones ubicadas en la costa.

La balsa y el pigue son especies pioneras de rápido crecimiento, mismas que resultan en ser de las más demandadas a nivel nacional, por su bajo costo de inversión en su manejo. Se hace entonces necesario considerar su potencial para pequeños productores en la Costa y Amazonía. (MAE, 2016) Según Arroyo Vinuesa, (2016), mediante catastro facilitado por la Dirección Nacional Forestal (D.N.F.), determina que el laurel (*Cordia alliodora*), pino (*Pinus radiata*) y eucalipto (*Eucalyptus globulus*) son de las especies más utilizadas en las industrias madereras.

2.15. Preservación de la madera

De acuerdo con la NEC-SE-MD de Estructuras de madera se debe de preservar la madera para aumentar su durabilidad natural. Los preservantes son sustancias químicas que, al aplicarlas adecuadamente en la madera, la hacen resistente al ataque de hongos, insectos y otros agentes de deterioro. La protección se consigue envenenando la madera para repeler los diferentes agentes biológicos de deterioro. (MIDUVI, 2015)

De acuerdo con su origen o naturaleza, los preservantes para madera se clasifican básicamente en:

- Creosotas (ordinaria, líquida, mezclas)
- Oleosolubles u orgánicos (pentaclorofenol, pentaclorofenato de sodio, nftenato de cobre o de zinc)
- Hidrosolubles o inorgánicos (sal simple, sal doble, multisal tipo CCA o CCB) (MIDUVI, 2015)

Creosotas: Consiste principalmente en hidrocarburos aromáticos sólidos y líquidos; contiene notables cantidades de ácidos y bases de alquitrán. Es más pesada que el agua. La creosota es una mezcla de compuestos y puede variar en cierta extensión; por eso para la preservación de la madera, debe cumplir con los requisitos de las normas técnicas. (PADT REFORT/JUNAC, 1984, pp. 2–16)

Oleosolubles: Son de gran toxicidad para los agentes biológicos, y presentan cualidades muy importantes, como: no son corrosivos, tienen gran poder de penetración y no son inflamables una vez que el solvente se ha evaporado. (MIDUVI, 2015, p. 36)

Hidrosolubles: Los productos hidrosolubles o inorgánicos son aquellos constituidos por sales metálicas simples, dobles o múltiples, que se solubilizan en agua. El agua presenta varias ventajas como solvente para los preservantes de madera. Se destacan su buena penetración en la madera, su ausencia de peligro ante el fuego, y, además, no es perjudicial para la salud. En su composición intervienen sustancias de reconocido poder fungicida e insecticida, además de un fijador que impida su lixiviación en la madera tratada. (MIDUVI, 2015; PADT REFORT/JUNAC, 1988)

2.16. Absorción de la madera

Según el manual de preservación de madera del Grupo Andino (PADT REFORT/JUNAC, 1988), el nivel de absorción depende de muchos factores, pero entre los principales es la proporción de albura y duramen de la madera, que influye en la permeabilidad de la madera al preservante.

Se clasifica la madera según su nivel de absorción de la siguiente manera:

- Absorción Alta (AA) > de 10 kg de productos activos/m³
- Absorción Buena (AB) = de 8 a 10 kg de productos activos/m³
- Absorción Mala (AM) = de 4 a 8 kg de productos activos/m³
- Absorción Nula (AN) < de 4 kg de productos activos/m³

Según con el Manual Del Grupo Andino, de acuerdo con el uso de la madera y los componentes de activos en los preservantes, se establecen valores de absorción neta mínima:

1. Para madera al exterior, en contacto directo con el suelo:

- Creosota: 100 a 125 lt/m³ (según la AWPA)
- Pentacrolófenol: 6.5 a 8 kg/m³ (según AWPA)
- Sales CCA (Cupro-Cromo-Arsenicales): 8 a 12 kg/m³ (según AWPA)
- Sales CCB (Cupro-Cromo-Bórico): 14 a 16 kg/m³ (según Wolman)

2. Para madera al exterior, sin contacto directo con el suelo, en condiciones húmedas:

- Creosota: 60 a 80 lt/m³ (según la AWPA)
- Pentacrolófenol: 4.5 a 5.5 kg/m³ (según AWPA)
- Sales CCA (Cupro-Cromo-Arsenicales): 6 kg/m³ (según AWPA)
- Sales CCB (Cupro-Cromo-Bórico): 8 kg/m³ (según Wolman)

3. Para madera al exterior, sin contacto directo con el suelo, en condiciones secas:

- Creosota: 60 lt/m³ (según la AWPA)
- Pentacrolófenol: 4.5 kg/m³ (según AWPA)
- Sales CCA (Cupro-Cromo-Arsenicales): 6 kg/m³ (según AWPA)
- Sales CCB (Cupro-Cromo-Bórico): 6 kg/m³ (según Wolman)

4. Para maderas en torres de enfriamiento:

- Creosota: 160 a 200 lt/m³ (según la AWWPA)
- Pentaclorofenol: 8 a 10 kg/m³ (según AWWPA)
- Sales CCA (Cupro-Cromo-Arsenicales): 10 a 16 kg/m³ (según AWWPA)
- Sales CCB (Cupro-Cromo-Bórico): 18 a 24 kg/m³ (según Wolman)

Para la preservación del CLT las empresas fabricantes, Binderholz en Austria y FINSA de España, utilizan la normativa de impregnación clase 2 para protección frente a ataques de hongos e insectos conforme a DIN 68800, con certificado CTB P+. Que permite la utilización de maderas en la construcción, sea en contacto o no con superficies no madereras. (BINDERHOLZ, 2021a)

En el mercado local, se cuenta con una variada oferta de productos para preservación de la madera a base solvente compuestos por agentes químicos como el pentaclorofenol; e inmunizantes a base de agua o hidrosolubles, compuestos principalmente por sales de boro. La empresa Wesco cuenta con su producto Maderlac que se puede encontrar en puntos de venta de Pintulac. Este producto puede ser usado tanto para maderas de interiores como exteriores, y no contiene Pentaclorofenol, el cual es un compuesto cancerígeno y muy usado en preservantes comunes de madera, como el Maderol. Maderlac previene el ataque de polillas, comején y moho. Su método de aplicación puede ser bien con brocha, pistola o inmersión. El método de inmersión ofrece una preservación más duradera y profunda, y según el fabricante se recomienda realizar el proceso por al menos 5 minutos.

La empresa Condor pinturas tiene a disposición el Preservante para Madera t-kill, que previene la proliferación de moho e insectos como polilla y comején. Tiene características de fungicida, bactericida y alguicida. Este producto cumple con las normas NTE INEN 1009 en densidad y NTE INEN 1013 en viscosidad. Sus métodos de aplicación son: brocha, mota e inmersión. Para el proceso de inmersión el fabricante recomienda la siguiente proporción: Diesel 80% en volumen y T-Kill 20% en volumen.

Agrin 25 es un producto insecticida normalmente usado para plantaciones de maíz, arroz, tomate riñón, lechuga, Gypsophila, piña y arveja. Este producto contiene Cypermethrin que, de acuerdo con Don Emilio Ochoa, dueño del Depósito de madera Ochoa, funciona muy bien en el ataque de plagas en la madera, diluyéndola con gasolina, penetrando de forma eficaz en las fibras. Es de uso agrícola pero que en la práctica sirve para otros propósitos. El

Cypermethrin como se ha mencionado con anterioridad en De Mello Barreto et al., (2019) se ha usado para la preservación de madera en elaboración de muestras de CLT.

Existe en el mercado local un preservante a base de sales de borax y ácido bórico en la industria maderera, el cual se ha comprobado su buen funcionamiento en la preservación de madera para espacios interiores. En el desarrollo del presente documento se establece el uso de este tipo de preservante hidrosoluble de acuerdo con fuentes bibliográficas donde se comprueba su efectividad, no solo en madera sino en la preservación de bambú.

2.17. Tipos de adhesivos

Para la elaboración de paneles CLT se establece la norma UNE-EN 16351 establece tres tipos de adhesivos para paneles de madera contralaminada, los cuales son: adhesivos de tipo fenólico y aminoplástico (por ejemplo, MF, MUF, PRF, UF), adhesivos de poliuretano monocomponente de curado en húmedo (PUR) y adhesivos basados en isocianato y polímeros en emulsión (EPI).

En el país se cuenta con diversidad de productos adhesivos destinados al sector maderero, por ejemplo, adhesivos epoxicos, cemento de contacto africano de la marca Adheplast, adhesivos sintéticos PVA de la marca Disma o Timmerman, espumas de poliuretano y adhesivos universales para construcción de la marca Bison.

El adhesivo universal Grizzly Montage Extreme de la marca Bison, el cual es apto para cualquier superficie tanto de interior como exterior, y que según el fabricante funcionaria en el pegado de las capas de CLT. Su base química es de polímeros SMP (Shaped Memory Polymer), que es un polímero que vuelve a su estado original después de pasar por un proceso de deformación o estímulo extremo, como un cambio de temperatura. Su fuerza de unión final es de 250 N/cm². La resistencia mínima de temperatura es de -40°C y máxima hasta 100°C. Tiene resistencia al corte de 250 N/cm².

La blancola de la marca Disma, es un adhesivo listo para usar compuesto de emulsiones de polivinil-acetato, muy usado en el mercado maderero por carpinteros y ebanistas. El adhesivo ideal para trabajos en madera por su baja toxicidad, adherencia óptima entre superficies, secado rápido, excelente cubrimiento y no produce manchas en la madera. De acuerdo con la ficha técnica del producto se indica lo siguiente: "Al utilizar DISMA BLANCOLA en

maderas, se recomienda que tengan una humedad entre 6 al 10%. Luego de prensada la madera, dejar secar por un tiempo comprendido entre 1 y 8 horas, lo cual dependerá de la temperatura ambiente que puede ser de 35 a 12 °C, para que el encolado adquiera su máxima resistencia”.

La Melamina Urea Formaldehido (MUF), Urea Formaldehido, Fenol-Resorcinol, y todo adhesivo autorizado para madera estructural se producen en la empresa AkzoNobel, la cual se importa al país y se distribuye en la ciudad de Quito. El MUF tiene un tiempo de vida de 8 meses, siempre y cuando se conserve a una temperatura media de 15°C y 20°C. Es un pegamento estructural y que esta recomendado en la norma UNE-EN 16351 en la sección 4.7.1.2 Adhesivos. Su proporción es del 20% y a diferencia de la Urea Formol, se debe de catalizar. La Urea Formaldehido es de uso inmediato ya que viene precatalizado sin melamina en polvo, su tiempo de vida es menor que el MUF, y ventajosamente se disuelve directamente con agua. De acuerdo con vendedores del producto, el MUF tiene un tiempo de pegado rápido de 5 minutos en la línea de cola a 110° de temperatura. La humedad de la madera ideal para trabajar el pegante es lo recomendado en todas las normas tanto europeas como nacionales, entre 10% a 12%, al igual que el pegante UF.

2.17.1. Alternativas de adhesivo

De acuerdo con revisión bibliográfica de patentes, nos encontramos con alternativas de adhesivos para madera, que sirven para la exploración del proyecto y entendimiento de las composiciones de los adhesivos y su aplicación.

La solicitud de patente WO 2022/165613 A1, se refiere a la producción de un adhesivo natural libre de formaldehído, químico toxico, volátil y que por ende es dañino para la salud, para tableros de madera MDF, PB, Plywood, etc. que comprende reaccionar una proteína vegetal seleccionada de soya, lupino y leguminosas, junto con un agente de entrecruzamiento seleccionado de un 100% de un sacárido oxidado o una combinación de un sacárido oxidado y de un sacárido sin oxidar o puro. Afirman que los tableros resultantes con este adhesivo presentan propiedades físico-mecánicas similares o superiores a aquellos que utilizan resina urea-formaldehído comercial. (Pardo Holtheuer et al., 2022)

La solicitud de patente ES2619849T3/PCT/US2011/039453 se refiere a adhesivos de proteína que contienen sémola de planta molida o una composición

de polipéptido aislada obtenida de biomasa vegetal, como aglutinante en reemplazo del formaldehído en respuesta a la necesidad de minimizar el uso de aglutinantes a base de petróleo, dañinos para el medio ambiente y la salud del ser humano. (Parker & Marcinko, 2017)

La solicitud de patente ES2930452T3/ PCT/CA2016/050436 se refiere a composiciones adhesivas que contienen lignina de alto contenido residual (HRC) producida a partir de licor negro, particularmente adhesivos para madera. Se refiere además al uso de dichas ligninas en formulaciones de adhesivos fenólicos para la fabricación de madera contrachapada para exteriores, madera de chapa laminada (LVL), tableros de virutas orientadas (OSB), tableros de partículas (PB), y tableros de fibras de densidad media (MDF). (Feng et al., 2022)

La solicitud de patente WO 2020/000117 A1 se refiere a un adhesivo urea-formaldehído de baja emisión de formaldehído que incorpora nanocelulosa y nanopartículas de cobre, que le confieren al adhesivo propiedades mecánicas superiores y alta durabilidad, además de permitir reducir la emisión de formaldehído libre, con hasta 60% menos emisión de formaldehído respecto de una resina normal, así como mejorar la fuerza de unión de un tablero. El producto cumple con la normativa internacional CARB, de emisiones de formaldehído, donde se exige un contenido de HCHO menor a 0.21 mg/m³, y además cumple con las exigencias del Ministerio de Salud de Chile con emisiones de HCHO menor a 0.37 mg/m³. (Gacitúa Escobar, 2020)

De acuerdo con la de patente de número de documento EP 0.501.174 B1 se describe una composición endurecedora para colas de urea-formaldehído, con un contenido de emulsión acuosa de un acetato de polivinilo, que comprende grupos de post reticulación, una sal de amonio y urea. No obstante, esta composición endurecedora no es adecuada para los sistemas adhesivos que tienen que curarse a temperatura ambiente o a temperaturas inferiores. (Nasli-Bakir & Lindberg, 2017)

El equipo de investigación opta por el uso de urea formaldehído combinado con acetato polivinílico presente en la blancola, por su disponibilidad y comprobada efectividad en el uso de paneles a base de fibras. En el desarrollo del presente documento se especifican las proporciones de acuerdo a las fichas técnicas mencionadas ahí.

2.18. Instalaciones de producción

Se utilizará las instalaciones de la Planta de Ecomateriales, que pertenece a la Unidad Académica y de Investigación de Ecomateriales (UAIE) de la Facultad de Arquitectura y Diseño de la UCSG, ubicada en el cantón Durán, en el km 4 1/2 Vía Durán- Tambo, Av. Tanasa ingresando por la compañía Senefelder. La planta está dirigida por el Arq. Robinson Vega, con la colaboración de los trabajadores, José Vergara y Manuel Peñaloza. La planta se dedica a la investigación y fabricación de prototipos de materiales para la construcción, que pueden ser utilizados en vivienda social.

El objetivo de la planta es la investigación para la elaboración de materiales ecológicos para la construcción y vivienda social, a través de la utilización de materiales con fibras naturales y de reciclaje, provenientes principalmente, de la agricultura o la agroindustria. Cuenta con el personal, los recursos, y los equipos adecuados para la elaboración de los paneles CLT.

2.18.1. Objetivos de la Planta de Ecomateriales.

- Desarrollar investigación científica en temas relacionados con el bambú, las fibras naturales, y materiales de reciclaje, promoviendo su uso de Ecomateriales, como materiales alternativos, sustentables, económicos, ambientalmente amigables y de amplios beneficios sociales para el País.
- Desarrollar el diseño y producción de Ecomateriales para la construcción de vivienda y de elementos constructivos innovadores elaborados con materiales alternativos, con énfasis en el uso de la caña *Guadua Angustifolia* Kunth y fibras naturales.
- Brindar capacitación por medio de talleres y cursos teórico-prácticos a instituciones públicas, privadas, academia, colegios profesionales y actores individuales o comunitarios, interesados en el uso de Ecomateriales.
- Fomentar la vinculación en proyectos de investigación y de desarrollo, con instituciones de educación superior y la comunidad.
- Fomentar la participación y colaboración de los estudiantes de la FAD y de la comunidad universitaria, u otras facultades de la UCSG, en proyectos de investigación. (UCSG, s/f)

3. METODOLOGÍA

3.1. Metodología y diseño general de investigación

El método de científico utilizado para el desarrollo de este trabajo es el analítico- experimental, a través del método de investigación hipotético deductivo, que parte de una hipótesis y se corrobora con la experimentación.

Las variables independientes son las combinaciones de especies maderables provenientes de residuos, que afectaran directamente en los resultados de las variables dependientes que son las resistencias a flexión y compresión.

La metodología del documento se divide en 4 fases:

- Recopilar información sobre las especies maderables de la región costa (Fase 1)
- Identificar sitios productores de madera y de alto índice de residuo. (Fase 2)
- Fabricar muestras de paneles CLT a partir de residuos. (Fase 3)
- Desarrollar ensayos mecánicos de compresión y flexión a las muestras de CLT. (Fase 4)

En la primera fase se investigaron especies maderables de la costa ecuatoriana mediante fuentes secundarias como Ecuador Forestal, Ministerio del Ambiente, FAO, tesis y artículos científicos, tanto nacionales e internacionales; y como fuentes primarias el estudio de campo a través de entrevistas a los actores claves del sector maderero. Posteriormente se elaboró una tabla de 8 especies maderables para recolección dentro de la provincia del Guayas, misma que se encuentra en el marco teórico punto 2.12, tabla 6, página 45.

Como segunda fase se identificaron potenciales sitios de recolección de materia prima mediante estudio de campo, entrevistas, usando la herramienta Google maps para buscar las pequeñas y grandes industrias que produzcan algunas de las 8 especies y que generen principalmente residuos sólidos de tablones, cuartones, tablas. Luego se procedió a seleccionar los lugares de

recolección según su cercanía con respecto a la ciudad de Guayaquil, posibilidad de ingreso al sitio, tipo de actividad, accesibilidad en movilidad y seguridad de los participantes.

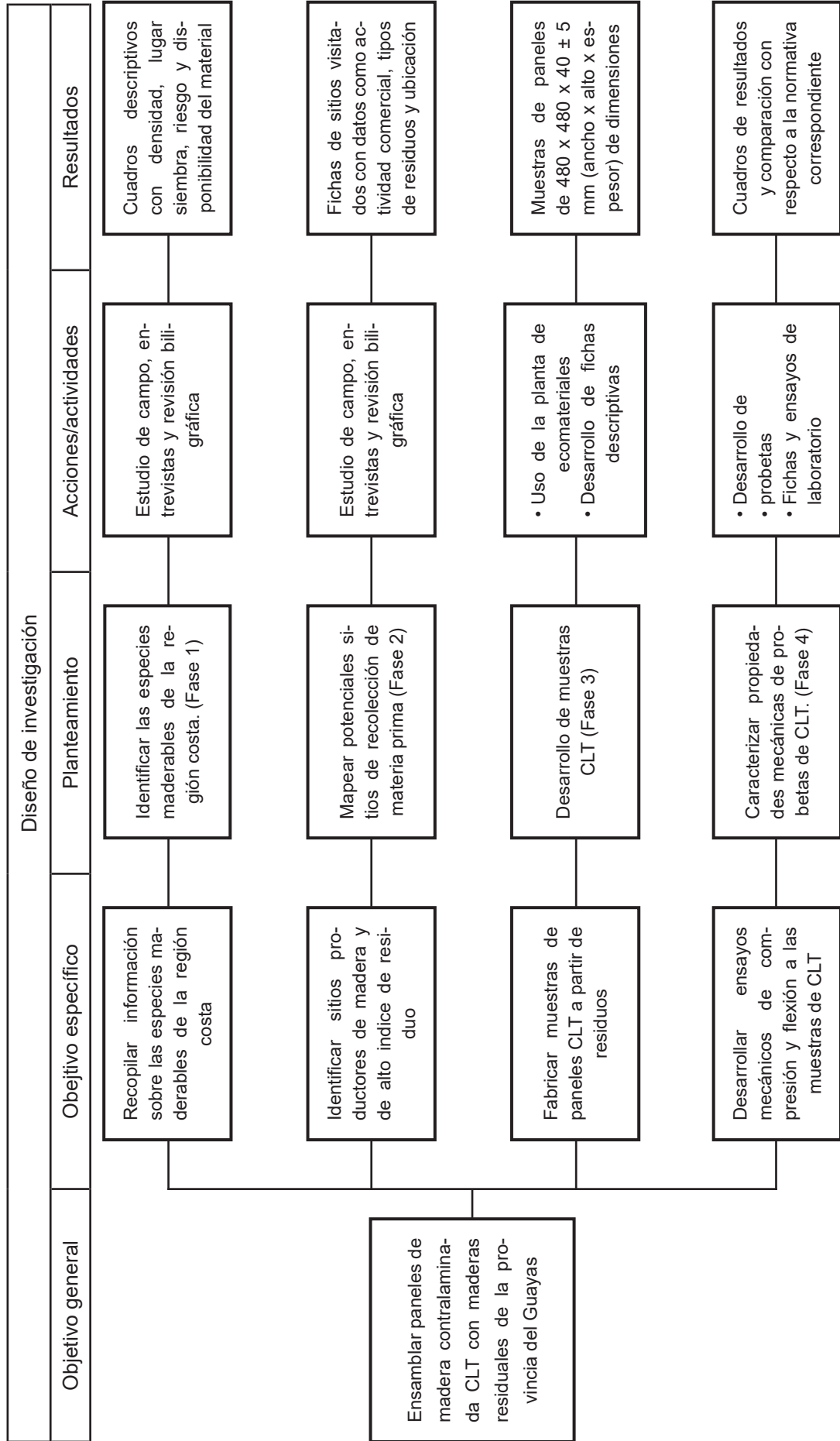
Como parte de la tercera fase, se elaboraron fichas técnicas donde se describen propiedades físicas y mecánicas de las especies recolectadas, se seleccionaron dos especies maderables (Laurel y balsa) y se incluyó la caña guadua de acuerdo a referencias de otras investigaciones de CLT, además de su disponibilidad, esto previo al ensamble de los paneles. Se utilizó la planta de ecomateriales para la elaboración de muestras experimentales en formato de 48 x 48 x 4,5 cm. Se estableció un proceso que incluye corte, cepillado, inmunizado, mediciones de humedad, peso y dimensiones. Se toma de referencia las normas UNE-EN 16351, EN 408 y para el dimensionamiento de las muestras. Se organizaron las muestras por medio de fichas descriptivas con datos como humedad, peso, volumen, para los ensayos mecánicos de laboratorio.

Como parte individual del trabajo cada integrante del grupo de investigación define su diseño de panel en función de la combinación de especies:

- Alex Arias: Laurel con Balsa
- Pedro Mantilla: Bambú con Laurel
- Daniel Veintimilla: Bambú con Balsa

Para la cuarta y última fase se realizaron ensayos de laboratorio haciendo uso del Laboratorio de Suelos y Materiales de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Católica Santiago de Guayaquil y el Centro de Investigaciones en Ingeniería Estructural y Sismos resistentes (CEINVES) para determinar propiedades mecánicas de las probetas de CLT. Para los ensayos se toman en cuenta las normas UNE-EN 16351, UNE-EN 408 y ASTM D198, donde se especifican los procedimientos y valores recomendados en cada ensayo. Como parte de la metodología y siguiendo un orden, se elaboraron fichas descriptivas de las probetas sometidas a ensayo donde se detallan dimensiones y carga aplicada máxima.

Al final se analizaron los modos de fallo en las uniones de las probetas y roturas. Estos resultados nos permiten tener una primera aproximación del comportamiento mecánico del material combinado para futuras aplicaciones en estructuras de viviendas.



3.1.1. Fase 1: Identificar las especies maderables de la región costa.

La primera fase investigativa se basó en fuentes primarias como entrevistas a encargados, dueños de pequeñas industrias, y fuentes secundarias como documentos oficiales del Ministerio del ambiente, la FAO (Food and Agriculture Organization) y tesis que enlistan las especies maderables del Ecuador. En esta fase se llegó a seleccionar algunas especies basados en la bibliografía disponible y en el estudio de campo previo. Los pasos a seguir para la identificación de las muestras serán los siguientes:

- Recopilación de la información bibliográfica y entrevistas.
- Análisis de la información.
- Elaboración de tabla 6 para determinar maderas aptas y no aptas para su recolección

3.1.2. Fase 2: Identificar potenciales sitios de recolección de materia prima

Se realizó el estudio de campo en la provincia del Guayas, donde se determinó la existencia, ubicación, cantidad estimada, estado, procesos de reciclaje para los residuos y desechos.

Una vez identificados los sitios preseleccionados se procedió a la recolección de las muestras, donde el equipo de campo conformado por: Alex Arias, Pedro Mantilla y Daniel Veintimilla; realizó la recolección del material, elaboración de fichas y demás documentos técnicos que permitieron registrar 7 especies maderables residuales. La caña guadua se incluyó dentro de las fichas como parte de los materiales a usar en los paneles, por su disponibilidad en la planta de ecomateriales y por su implementación en investigaciones de CLT.

El vehículo utilizado durante las visitas fue un Chevrolet Aveo color azul marino, mismo que sirvió de transporte del material para su posterior almacenamiento en la planta de ecomateriales. El tiempo de recolección tomó un tiempo aproximado de un mes y medio. Los pasos a seguir para esta fase fueron los siguientes:

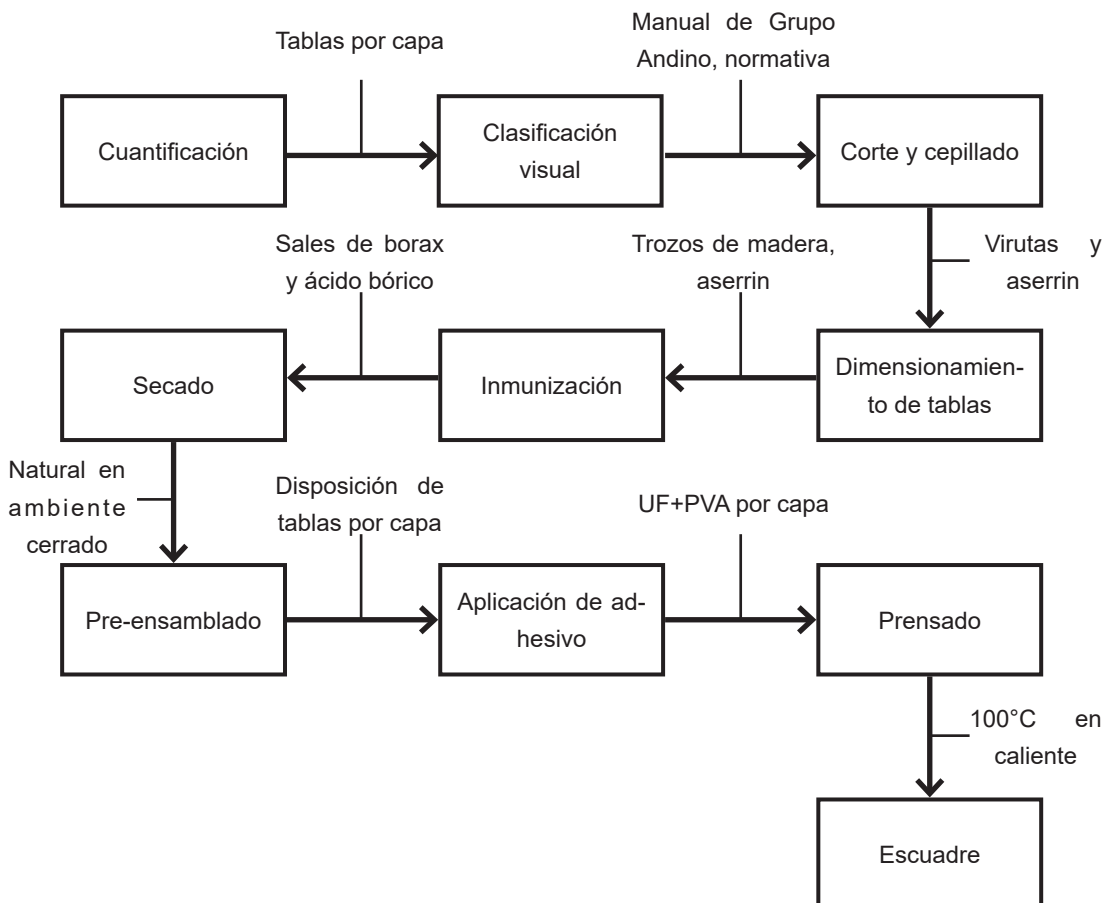
- Acercamiento y obtención de permisos en sitios preseleccionados mediante comunicación telefónica, visitas personales y entrevistas.
- Recolección de muestras de residuos en sitios preseleccionados.
- Clasificación y selección de especies maderables residuales.
- Elaboración de fichas descriptivas y mapas de ubicación georreferenciados.

3.1.3. Fase 3: Desarrollo de muestras de paneles CLT a partir de residuos

Una vez culminada la fase de recolección de materia prima residual de las 7 especies seleccionadas, se procedió al tratamiento del material para su respectiva aplicación en muestras de 48x48x4,5cm (ancho x alto x espesor) con un total de 3 capas, dichas muestras permiten calibrar el tiempo, la presión y la temperatura ideal a la que se debe prensar. Cada integrante realiza un total de 3 muestras de 3 capas para este proceso. Posterior a esto y siguiendo la normativa UNE-EN 16351, que especifica que para pruebas de laboratorio se debe trabajar con muestras de clt de 5 capas, se realiza 3 muestras por cada integrante, de 48x48x4,5 cm (ancho x largo x espesor) de 5 capas. Cada integrante elaboró su panel en función de la combinación de especies para posterior análisis y comparación: Alex Arias elaboró muestras de Laurel con Balsa, Pedro Mantilla elaboró muestras de Bambú con Laurel y Daniel Veintimilla elaboró muestras de Bambú con Balsa.

El siguiente diagrama de flujo (figura 33), explica el procedimiento a seguir para la elaboración de muestras de CLT:

Figura 33. Diagrama de flujo fase 3



3.1.4. Materiales y equipos

A continuación se detallan los materiales y equipos usados en la fase 3 del proyecto de investigación.

3.1.4.1. Balanza digital

La balanza disponible en la planta de ecomateriales fue de utilidad como parte de la cuantificación del material recolectado en los viajes, determinando el peso de los residuos obtenidos y el peso de las tablas ya cortadas y cepilladas. Es una balanza digital de plataforma marca Doran T Scale de 46 x 60 cm de plataforma, con pantalla led y enchufe de dos patas.

Figura 34. Balanza digital



Fuente: Elaboración propia

3.1.4.2. Herramientas de medición

El equipo de trabajo cuenta con dos calibradores digitales marca Mitutoyo número de artículo 500-505-10 de acero inoxidable endurecido y equipado con escala ABSOLUTE System para mediciones de alta velocidad sin errores. Especificaciones: 630 mm longitud total, 25mm altura de mango, peso de 1170 gramos, ORIGIN (puesta a cero ABS) y duración batería aprox. 20000 horas. También contamos con un flexómetro marca Stanley Pro de 5 m.

Figura 36. Herramientas de medición. (a) calibrador digital. (b) flexómetro



(a)



(b)

Fuente: Elaboración propia

3.1.4.3. Higrómetro

Se utilizó el modelo Medidor de Humedad LCD 9V de la marca MMD4E, es un medidor de humedad para materiales de construcción y madera, que permite medir escalas de humedad baja, media y alta. De tipo clavija con pasadores de acero inoxidable Pantalla LCD. Se utiliza en maderas blandas, duras, mampostería y cartón yeso, con una batería de 9V y una precisión de $\pm 3\%$ de lectura. Incluye 200 especies de maderas y sus mediciones son de 5% a 50% para madera y de 1,5% a 33% para materiales de construcción.

Figura 35. Higrómetro



Fuente: Elaboración propia

3.1.4.4. Mesas de sierra

La planta ecomateriales cuenta con dos mesas de sierras circulares o sierras de banco; una mesa de 105 x 104,5 x 84 cm (ancho x alto x altura) con un solo disco y otra mesa de 90 x 104 x 84 cm (ancho x alto x altura) con dos discos. Todos los discos son de 14" (350 mm) de diámetro para madera tipo Industrial, de 60 dientes, velocidades entre 2.700 a 3.300 rpm (Revoluciones por minuto) y con una espesura de corte de 3.9 mm. Su voltaje es de 125/250 Voltios y 50 Amperios, con toma-corriente trifasico tipo industrial marca Cooper. Las sierras sirven para cortar longitudinalmente el material residual.

Figura 37. Mesas de sierra

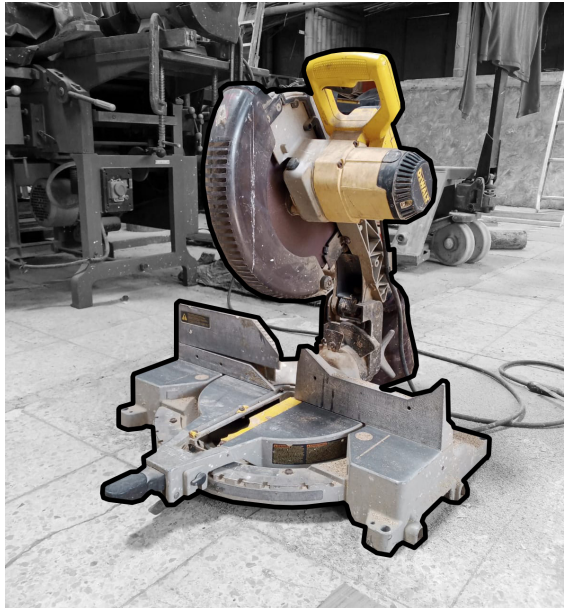


Fuente: Elaboración propia

3.1.4.5. Sierra ingletadora

La planta ecomateriales cuenta con una sierra de inglete compuesta con aislamiento doble tipo 2 marca DeWalt modelo DW715 con las siguientes especificaciones: motor de 15 amperios, voltaje de 120 Voltios, potencia de 1600 Watts, frecuencia de 50/60 Hz, velocidad de 4.000 rpm (revoluciones por minuto), escala de ingletes ajustable de acero inoxidable con 11 paradas, peso liviano de 42lbs con mango en la base, disco de 12" (305 mm) de diámetro, biselado de 0° a 48° a la izquierda y de 0° a 3° a la derecha; y capacidad de inglete de 0°-50° izquierda y derecha. La sierra sirve para cortar los residuos transversalmente a tablas de dimensiones iguales.

Figura 39. Sierra ingletadora



Fuente: Elaboración propia

Figura 38. Latilladora tipo estrella

La latilladora disponible en la planta de ecomateriales, es una herramienta motorizada, que mediante un panel eléctrico instalado, empuja la caña guadua colocando la punta de la caña en el centro de la cuchilla denominada mariposa o estrella y la base sobre un peso asegurado sobre un riel. Su función principal es extraer latillas o tiras de la caña.

Figura 40. Latilladora tipo estrella



Fuente: Elaboración propia

3.1.4.6. Cepilladora

La planta de ecomateriales cuenta con la cepilladora de carpintería de una cara marca HiWinstar, empresa originaria de Shangai, China. El modelo es MB106BM con las siguientes especificaciones: eje de velocidad 6500 rpm, voltaje 80V, potencia 5.5 kw, ancho máximo de cepillado 650 mm, espesor máximo de cepillado 180 mm, espesor mínimo de cepillado 3 mm, cantidad máxima de cepillados ≤ 4 mm. Sus dimensiones nominales 800 x 1060 x 1250 mm (ancho x longitud x altura).

Figura 41. Cepilladora de madera de una cara



Fuente: Elaboración propia

3.1.4.7. Tanques plásticos

Para el proceso de inmunización de madera se usaron tanques azules de polietileno de 55 galones (220 lts) de capacidad, marca plastigama/amanco, modelo standard con tapa, con dimensiones de 880 x 560 x 2,25 mm (altura x diámetro x espesor de pared). Para el almacenamiento de las tablas de madera cortadas se usaron tanques de color rojo extra fuertes con tapa negra, de 77 lts de capacidad y dimensiones de 510 x 360 mm (alto x diámetro).

Figura 42. Tanques. (a) Tanque 55 gl. (b) Tacho extrafuerte de 77 lt



Fuente: Elaboración propia

3.1.4.8. Adhesivo

Los adhesivos usados fueron Urea Formaldehído (UF), recomendado en la norma UNE-EN 1631 y pegante de polivinil-acetato (PVA) o goma blanca. Ambos son muy usados en la industria maderera, carpintería, y ebanistería. Sus especificaciones se detallan en las tablas 7 y 8 en base a las fichas técnicas de cada producto:

Tabla 7. Ficha técnica Urea-Formaldehído

Resina Ureica Autoindurente	
Marca	Akzonobel
Composición química	Formulado a base de condensado de urea-formaldehído
Aspecto	Polvo
Color	Blanco
Densidad	Aprox. 500 kg/m ³
Almacenamiento	6 meses a 20°C
Proporción	En peso: 100 partes resina y 50 partes agua (2:1)
Cantidad de pegamente	<ul style="list-style-type: none"> •Chapa: 80-120 g/m² •Madera contrachapada y puertas: 160-200 g/m² •Madera maciza: 200-250 g/m²
Humedad de la madera	8 - 12%.
Presión	0.1 Mpa - 0.8 Mpa
Temperatura prensa	≥70 °C

Fuente: Elaboración propia en base a Akzonobel, (2004)

Tabla 8. Ficha técnica Blancola (PVA)

Blancola (PVA)	
Marca	Disma
Composición química	Polímeros de polivinilacetato, polímeros sintéticos, antiespumantes, dispersantes, cargas inorgánicas, preservantes y agua
Aspecto	Líquido viscoso
Color	Blanco
Viscosidad (cps)	Min. 12.000
% sólidos	Min. 27,00
Humedad de la madera	6 - 10%.
Prensado	Frio
Tiempo secado	1 y 8 horas luego de prensada la madera
Temperatura ambiente	35 a 12 °C, para que el encolado adquiera su máxima resistencia
Periodo de vida util	24 meses a partir de la fecha de elaboración

Fuente: Elaboración propia en base a Disma, (2018)

3.1.4.9. Prensa

Para poder prensar los paneles, se cuenta con la prensa hidráulica de 300 toneladas marca HOLYTEK de 230 Voltaje y 178 Amperios, ubicada en la planta de Ecomateriales. Con medidas de 240 cm x 120 cm la cual tiene la capacidad de prensar a calor a través del plato superior e inferior a una temperatura máxima de 120 grados.

Figura 43. Prensa hidráulica 300ton.



Fuente: Elaboración propia

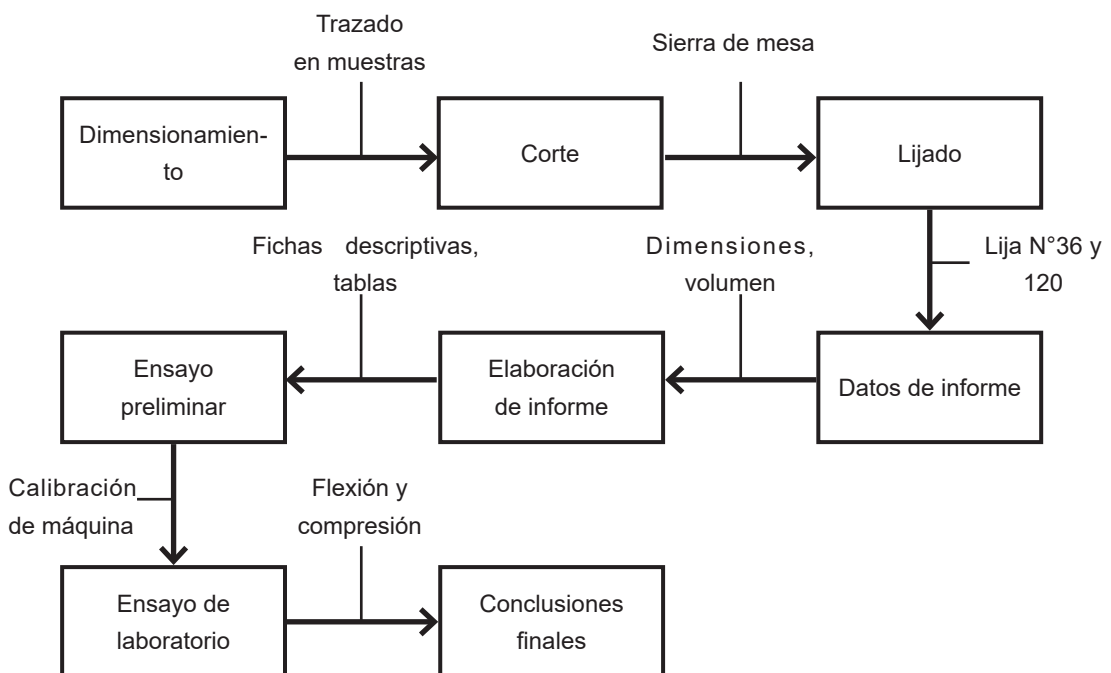
3.1.5. Fase 4: Caracterizar propiedades mecánicas de probetas de CLT

Una vez finalizada la fase 3 donde se elaboraron las muestras de 3 capas y de 5 capas, se procede a la extracción de probetas que serán sometidas a ensayos de flexión perpendicular al plano, compresión perpendicular y paralela al plano.

A partir de 2 muestras de 48 x 48 x 4,5 cm de 5 capas por cada integrante se extrajeron; 6 probetas para ensayos a flexión perpendicular al plano, 6 probetas para compresión paralelo al grano y 6 probetas de compresión perpendicular al plano, dando un total de 18 probetas para flexión, 18 de compresión paralela al plano y 18 de compresión perpendicular al plano. Las probetas de flexión se cortaron a una dimensión de 48 x 10 x 4,5 cm (largo x ancho x altura) y las probetas de compresión de 8 x 4 x 4,5 cm (largo x ancho x altura). Una vez obtenidas las probetas se procede a realizar fichas para informe, con datos de dimensiones de probetas y carga máxima aplicada hasta su punto de deformación.

En esta ultima fase se analizará el comportamiento de cada diseño de panel en función de la combinación de especies. El siguiente diagrama de flujo (figura 44) muestra el procedimiento para la extracción de probetas y posteriores ensayos:

Figura 44. Diagrama de flujo fase 4



3.1.6. Materiales y equipos

En la fase 4 se usaron los dos calibradores digitales marca Mitutoyo número de artículo 500-505-10 y el flexómetro marca Stanley Pro de 5 m para tomar medidas de las probetas a ensayarse. Lo que se describe a continuación son las máquinas usadas en los ensayos:

3.1.6.1. Máquina para ensayos a flexión

La máquina para los ensayos a flexión fue una prensa de carga Mecánica CBR (California Bearing Ratio) H-4156 marca Humboldt número de serie 4312, ubicada en el Laboratorio de Suelos de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Católica Santiago de Guayaquil, con las siguientes especificaciones: resolución de lectura de carga de 10 lbf en un rango de 10.000 lbf (44,5 kN) que es la capacidad máxima de carga, diseño de gato a dos velocidades, peso de envío 120 libras (54,4 kg), altura total 1042 mm, dimensiones de base 337 x 203 x 57 mm, la dirección de la platina es hacia arriba para la rotación de la manivela en el sentido de las agujas del reloj y hacia abajo para el sentido contrario de las agujas del reloj y temperatura de operación del anillo de 22°C.

Figura 45. Máquina para ensayos a flexión



Fuente: Elaboración propia

3.1.6.2. Máquina para ensayos de compresión

La máquina para ensayos de compresión fue una máquina de ensayos C47L4 número de serie 99102662 marca Controls ubicada en el Centro de Investigaciones en Ingeniería Estructural y Sismos resistentes (CEINVES) con las siguientes especificaciones: capacidad de carga 2000 kN, categoría 1, peso de la máquina 600 kg, temperatura de operación 5 - 45°C y energía elástica de 2100 J (Joule). Esta celda de carga se conecta a un monitor de sistema digital microprocesado fabricado por Datamatic, la cual permite tomar lectura de la carga ejercida sobre el elemento.

Figura 46. Máquina para ensayos a compresión



Fuente: Elaboración propia

4. DESARROLLO

4.1. Levantamiento de información

La investigación de campo empezó de un conocimiento previo de depósitos de madera en la ciudad de Guayaquil, los mismos que sirvieron para recolectar información acerca de las especies de madera que más se venden en la región y posteriormente identificar lugares estratégicos para la recolección de materia prima proveniente de residuos.

Se utilizaron los siguientes términos de búsqueda en Google maps: “depósitos de madera en Guayaquil”, “aserraderos Guayaquil”, “depósitos madera” y “maderas Guayaquil”. Posterior se hicieron las llamadas correspondientes para una entrevista personal, ya que se debía de observar cantidades de residuos, tipos de residuos, su procesamiento, que especies se venden más y el tipo de productos que comercializan (tablas, cuartones, puertas, etc). La Maderera Sandrita y Maderera Quininde en el centro y sur de la urbe respectivamente, fueron los lugares seleccionados para el informe, ya que se obtuvo la información necesaria para la posterior selección de especies de la fase 1.

Figura 47. Depósitos de maderas en Guayaquil. (a) Maderera Sandrita. (b) Maderera Quininde



(a)



(b)

Fuente: Elaboración propia

4.2. Elaboración de mapas georreferenciados

La tabla 9 ubica los sitios visitados para la recolección de materia prima y posterior procesamiento de información. La tabla considera los siguientes datos: cantón, nombre de local, ubicación exacta dentro del cantón y la actividad que se dedica dicho sitio.

Los sitios fueron seleccionados de acuerdo a su cercanía respecto a la ciudad de Guayaquil, disponibilidad de atención, referencias de personas involucradas en el sector maderero.

Desde la tabla 10 hasta la tabla 14 se describe información de todos los sitios visitados por el equipo de trabajo en donde se detalla lo siguiente: ubicación respecto al cantón, procesamiento y tipo de residuos (si se vende, se queman, reciclan, si son residuos de virutas o en tablas), encargado, comercialización e información extra que podría ser tomada en consideración para la investigación.

Tabla 9. Sitios madereros en Balzar y Guayaquil



Figura 48. Mapa de Ecuador

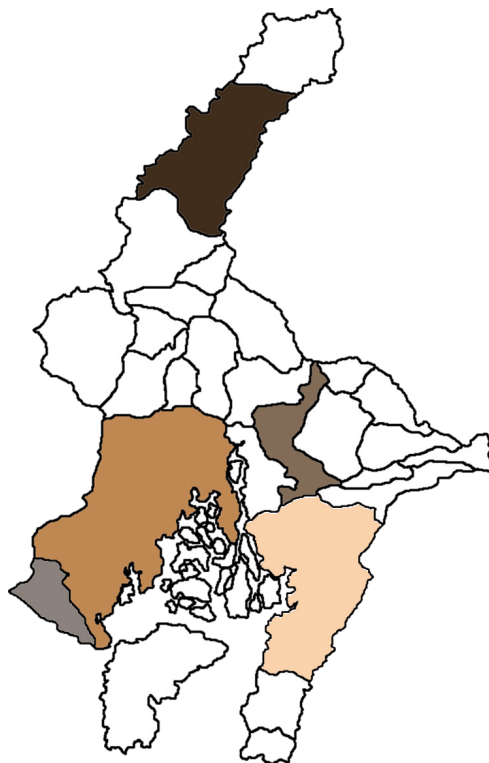


Figura 49. Mapa de la provincia del Guayas dividida por cantones

CANTÓN	LOCAL	UBICACIÓN	ACTIVIDAD
 BALZAR	DEPÓSITO DE MADERA OCHOA	NUEVA ESPERANZA, PALESTINA, VÍA A BALZAR	FABRICACIÓN DE MUEBLES
	ASERRADERO VILLAREAL	AV. AMAZONA KM1, EL EMPALME, BALZAR	MADERA PARA CONSTRUCCIÓN
 GUAYAQUIL	MADERERA SANDRITA	CACIQUE ALVARES ENTRE BRASIL Y GÓMEZ RENDON	VENTA DE MADERA AL POR MAYOR
	MADERERA QUININDE	LA 26 ENTRE PORTETE Y ARGENTINA	VENTA DE MADERA AL POR MAYOR
	MADERERA TIFFANY 2	VÍA A LA COSTA KM22, ANTES DE RANCHO LAGUNA	FABRICACIÓN DE PUERTAS
	DEPÓSITO DE MADERA DON ALFONSO	AV. CAMILO PONCE DE LA VÍA A DAULE	MADERA PARA CONSTRUCCIÓN
 YAGUACHI	HAROMADERA	KM 14.5 VÍA DURÁN-YAGUACHI	REPARACIÓN DE PALLETS
	MADERTROP	VÍA YAGUACHI PASANDO EL PEAJE	PROCESAMIENTO DE BLOQUES DE BALSA
 PLAYAS	MADERERA EL BOSQUE	CALLE PAQUISHA Y 24 DE DICIEMBRE	VENTA DE MADERA AL POR MAYOR





Fuente: En base a Guayas, Cantones, por Prefectura del Guayas, 2023, Prefectura del Guayas (<https://guayas.gob.ec/cantones-2/>). Portal web

Tabla 10. Descripción de sitios en Balzar

DEPÓSITO DE MADERA OCHOA	
	
Figura 50. Preservante Agrin 25	Figura 53. Maderas Ochoa
CANTÓN	RECICLAJE
BALZAR	EL ASERRÍN Y LA VIRUTA SE REGALA
ENCARGADO	COMERCIALIZAN
EMILIO OCHOA	MADERAS COMO:
INFORMACIÓN EXTRA	TECA
SE INMUNIZA LA MADERA CON AGRIN 25, UN INSECTICIDA DILUIDO CON GASOLINA	LAUREL
	FERNÁN SANCHEZ
ASERRADERO VILLAREAL	
	
Figura 51. Aserradero Villareal	Figura 52. Galpón Villareal
CANTÓN	RECICLAJE
BALZAR	LOS RESIDUOS SE VENDEN
ENCARGADO	COMERCIALIZAN
CESAR ENRIQUE	MADERAS COMO:
INFORMACIÓN EXTRA	CEDRO
LA MELINA ES POCO FRECUENTE	MELINA
	JIGUA
	AMARILLO
	MARAÑÓN
	FERNÁN SANCHEZ

Fuente: Elaboración propia

Tabla 11. Descripción de sitios en Guayaquil

MADERERA SANDRITA	
	
Figura 54. Sacos residuos	Figura 56. Retazos de madera
CANTÓN	RECICLAJE
GUAYAQUIL	LOS RESIDUOS SE REGALAN
ENCARGADO	COMERCIALIZAN
ALBERTO BECERRA	MADERAS COMO:
INFORMACIÓN EXTRA	AMARILLO
LOS RESIDUOS QUE MAS SE GENERAN SON CORTEZAS, VIRUTAS Y RECORTES	GUAYACÁN
	LAUREL
MADERERA QUININDE	
	
Figura 55. Tablas aserradas	Figura 57. Taller Quininde
CANTÓN	RECICLAJE
GUAYAQUIL	LOS RESIDUOS SE VENDEN
ENCARGADO	COMERCIALIZAN
CARLOS MONTOYA	MADERAS COMO:
INFORMACIÓN EXTRA	MASCAREY CHANUL
LOS RESIDUOS QUE MAS SE GENERAN SON VIRUTAS, RECORTES Y ASERRÍN	CAIMITILLO TIYA MOTILÓN
	CUERO DE SAPO

Fuente: Elaboración propia

Tabla 12. Descripción de sitios en Guayaquil

MADERERA TIFFANY 2	
	
Figura 58. Taller Tiffany	Figura 61. Productos finales
CANTÓN	RECICLAJE
GUAYAQUIL	LOS RESIDUOS SE QUEMAN
ENCARGADO	COMERCIALIZAN
GREGORIO MARCILLO	MADERAS COMO:
INFORMACIÓN EXTRA	LAUREL BLANCO
FABRICAN PUERTAS, JAMBAS, MARCOS, DINTELES, CARPINTERÍA. RESIDUOS EN TABLAS, VIRUTAS, CUARTONES	LAUREL NEGRO
	FERNÁN SANCHEZ
DEPÓSITO DE MADERA DON ALFONSO	
	
Figura 59. Taller Don Alfonso	Figura 60. Sacos de residuos
CANTÓN	RECICLAJE
GUAYAQUIL	RESIDUOS SE VENDEN
ENCARGADO	COMERCIALIZAN
DON ALFONSO	MADERAS COMO:
INFORMACIÓN EXTRA	ROBLE
SE ELABORAN MUEBLES Y JABA. SE GENERAN MAYORMENTE ASERRIN, VIR- TUAS, TROZAS PEQUEÑAS	AMARILLO
	CEDRO
	SEIQUE
	TECA

Fuente: Elaboración propia

Tabla 13. Descripción de sitios en Yaguachi

HAROMADERA	
	
Figura 62. Planta Haromadera	Figura 65. Pallets de pino
CANTÓN	RECICLAJE
YAGUACHI	REPARACIÓN DE PALLETS
ENCARGADO	COMERCIALIZAN
CRISÓLOGO HARO	MADERAS COMO:
INFORMACIÓN EXTRA	PINO RADIATA
LA SUCURSAL DE YAGUACHI SE DEDICA A REPARAR LOS PALLETS	EUCALIPTO
MADERTROP	
	
Figura 63. Corchos de balsa	Figura 64. Planta Madertrop
CANTÓN	RECICLAJE
YAGUACHI	EL ASERRÍN SE QUEMA
ENCARGADO	COMERCIALIZAN
CARLOS PIGUAVE	MADERAS COMO:
INFORMACIÓN EXTRA	BALSA
PROCESAN BLOQUES DE BALSA PARA LA EXPORTACIÓN A CHINA. DESECHAN CORCHOS DE BALSA	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 14. Descripción de sitios en General Villamil-Playas

MADERERA EL BOSQUE	
	
Figura 66. Sacos de aserrin	Figura 67. Tiras de madera
CANTÓN	RECICLAJE
PLAYAS	LOS RESIDUOS SE VENDEN
ENCARGADO	COMERCIALIZAN
MARCO HERNANDEZ	MADERAS COMO:
INFORMACIÓN EXTRA	CHANUL
LA MADERA PROVIENE DE	FIGUEROA
ESMERALDAS	AMARILLO
	MORAL

Fuente: Elaboración propia

4.3. Descripción especies recolectadas

A partir de la tabla 15 hasta la tabla 22 se detallan datos de las especies que se lograron recolectar en su momento, la producción de cierto tipo de maderas son por temporadas y eso depende de su crecimiento. Esta información se complementa con la bibliografía revisada en el marco teórico punto 2.12 sobre las especies idóneas a utilizar.

Las especies recolectadas fueron:

- Balsa (*Ochroma Pyramidale*)
- Teca (*Tectona Grandis Linn F.*)
- Laurel (*Cordia Alliodora*)
- Pachaco (*Schizolobium Parahybum*)
- Fernan Sanchez (*Triplaris Cumingiana*)
- Chanul (*Humiriastrum Procerum*)
- Cedro (*Cedrela Odorata*)

Las fichas técnicas se dividen en tres grupos de datos: Descripción general, propiedades físicas y propiedades mecánicas.


En descripción general se detalla lo siguiente:

- Nombre común
- Nombre científico
- Secado
- Uso
- Durabilidad
- Trabajabilidad
- Preservación

En cuanto a propiedades físicas se tienen datos como la densidad en kg/m³ y porcentaje de contracciones (tangencial, radial y relación entre ambos).

Las propiedades mecánicas que se detallan son flexión estática, compresión paralela, compresión perpendicular y dureza.

Tabla 15. Ficha técnica de Balsa (Ochroma Pyramidale)

	NOMBRE COMÚN		SECADO		
	BALSA		DEMASIADO RÁPIDO AL AIRE LIBRE		
	NOMBRE CIENTÍFICO				
	OCHROMA PYRAMIDALE		DURABILIDAD		
	USO		SUSCEPTIBLE AL ATAQUE DE HONGOS E INSECTOS		
	AISLANTE ELÉCTRICO, TÉRMICO Y ACÚSTICO		PRESERVACIÓN		
	TRABAJABILIDAD		FÁCIL, POR CUALQUIER MÉTODO		
Figura 68. Corchos de balsa		QUÍMICAMENTE COMPATIBLE CON RESINAS			
PROPIEDADES FÍSICAS					
DENSIDAD	VERDE	SECO AL AIRE	BÁSICA		
KG/M3	340	160	120		
CONTRACCIÓN NORMAL	TANGENCIAL	RADIAL	RELACIÓN T/R		
%	4,27	1,69	2,56		
PROPIEDADES MECÁNICAS					
FLEXIÓN ESTÁTICA	ELP	MOR	MOE		
KG/CM2-TON/CM2	120,7 KG/CM2	213,5 KG/CM2	43,7 TON/CM2		
COMPRESIÓN PARALELA	ELP	MOR	MOE		
KG/CM2-TON/CM2	101,5 KG/CM2	133,7 KG/CM2	53,7 TON/CM2		
COMP. PERPENDICULAR	ELP		MOE		
KG/CM2-TON/CM2	8,5 KG/CM2		1,75 TON/CM2		
DUREZA	LADOS		EXTREMOS		
KG	267		417		

ELP: ESFUERZO EN EL LÍMITE PROPORCIONAL


MOE: MÓDULO DE ELASTICIDAD

MOR: MÓDULO DE RUPTURA

ER: ESFUERZO DE RUPTURA

Fuente: Vinuesa, (2012e)

Tabla 16. Ficha técnica de Teca (Tectona Grandis Linn F.)

	NOMBRE COMÚN		SECADO	
	TECA		ES DE FÁCIL Y RÁPIDO SECADO, PRESENTANDO LIGERAS DEFORMACIONES	
	NOMBRE CIENTÍFICO			
	TECTONA GRANDIS LINN F.		DURABILIDAD	
	USO		ALTAMENTE RESISTENTE	
	ESTRUCTURAL, MUEBLES			
TRABAJABILIDAD		PRESERVACIÓN		
Figura 69. Residuos de teca	FÁCIL, A VECES SE DIFICULTA POR LA PRESENCIA DE SILICE		EL DURAMEN ES IMPOSIBLE DE PRESERVAR	
PROPIEDADES FÍSICAS				
DENSIDAD	VERDE	SECO AL AIRE	BÁSICA	
KG/M3	800	610	530	
CONTRACCIÓN NORMAL	TANGENCIAL	RADIAL	RELACIÓN T/R	
%	2,69	1,61	1,67	
PROPIEDADES MECÁNICAS				
FLEXIÓN ESTÁTICA	ELP	MOR	MOE	
KG/CM2-TON/CM2	633 KG/CM2	1005 KG/CM2	0,108 TON/CM2	
COMPRESIÓN PARALELA	ELP	MOR	MOE	
KG/CM2-TON/CM2	336 KG/CM2	458 KG/CM2	53,7 TON/CM2	
COMP. PERPENDICULAR	ELP		MOE	
KG/CM2-TON/CM2	8,5 KG/CM2		N/A	
DUREZA	LADOS		EXTREMOS	
KG	111		481	

ELP: ESFUERZO EN EL LÍMITE PROPORCIONAL


MOE: MÓDULO DE ELASTICIDAD

MOR: MÓDULO DE RUPTURA

ER: ESFUERZO DE RUPTURA

Fuente: Vinueza, (2012a)

Tabla 17. Ficha técnica de Laurel (Cordia Alliodora)

	NOMBRE COMÚN		SECADO	
	LAUREL		NO REGISTRA DEFECTOS DE SECADO APRECIABLES	
	NOMBRE CIENTÍFICO			
	CORDIA ALLIODORA			
	USO		DURABILIDAD	
	CARPINTERÍA EN GENERAL		ALTA DURABILIDAD NATURAL	
Figura 70. Residuos de laurel	TRABAJABILIDAD		PRESERVACIÓN	
	PRESENTA BUEN PULIMENTO EN EL CEPILLADO, MOLDURADO		FÁCIL DE PRESERVAR	
PROPIEDADES FÍSICAS				
DENSIDAD	VERDE	SECO AL AIRE	BÁSICA	
KG/M3	890	450	390	
CONTRACCIÓN NORMAL	TANGENCIAL	RADIAL	RELACIÓN T/R	
%	4,20	1,73	2,40	
PROPIEDADES MECÁNICAS				
FLEXIÓN ESTÁTICA	ELP	MOR	MOE	
KG/CM2-TON/CM2	464,42 KG/CM2	723,76 KG/CM2	86,2 TON/CM2	
COMPRESIÓN PARALELA	ELP	MOR	MOE	
KG/CM2-TON/CM2	229,69 KG/CM2	324,83 KG/CM2	90,32 TON/CM2	
COMP. PERPENDICULAR	ELP		MOE	
KG/CM2-TON/CM2	56,71 KG/CM2		79,55 TON/CM2	
DUREZA	TANGENCIAL		EXTREMOS	
KG	246,63		276,54	

ELP: ESFUERZO EN EL LÍMITE PROPORCIONAL


MOE: MÓDULO DE ELASTICIDAD

MOR: MÓDULO DE RUPTURA

ER: ESFUERZO DE RUPTURA

Fuente: Vinuesa, (2012c)

Tabla 18. Ficha técnica de Pachaco (*Schizolobium Parahybum*)

	NOMBRE COMÚN		SECADO	
	PACHACO		AL AIRE LIBRE	
	NOMBRE CIENTÍFICO		MODERADAMENTE	
	SCHIZOLOBIUM PARAHYBUM		RÁPIDO	
	USO		(26 DÍAS PARA TABLAS)	
	PRODUCCIÓN DE CHAPAS		DURABILIDAD	
	TRABAJABILIDAD		PRESERVACIÓN	
Figura 71. Residuos de Pachaco	EXCELENTE AL CEPILLADO Y MOLDURADO		RESPONDE BIEN AL TRATAMIENTO DE BAÑO CALIENTE-FRÍO	
PROPIEDADES FÍSICAS				
DENSIDAD	VERDE	SECO AL AIRE	BÁSICA	
KG/M3	740	440	400	
CONTRACCIÓN NORMAL	TANGENCIAL	RADIAL	RELACIÓN T/R	
%	3,70	1,70	2,18	
PROPIEDADES MECÁNICAS				
FLEXIÓN ESTÁTICA	ELP	MOR	MOE	
KG/CM2-TON/CM2	390 KG/CM2	569 KG/CM2	86 TON/CM2	
COMPRESIÓN PARALELA	ER	MOR	MOE	
KG/CM2-TON/CM2	364 KG/CM2	N/A	N/A	
COMP. PERPENDICULAR	ELP		MOE	
KG/CM2-TON/CM2	54 KG/CM2		N/A	
DUREZA	LADOS		EXTREMOS	
KG	231		330	

ELP: ESFUERZO EN EL LÍMITE PROPORCIONAL

MOE: MÓDULO DE ELASTICIDAD

MOR: MÓDULO DE RUPTURA

ER: ESFUERZO DE RUPTURA

Fuente: Vinuesa, (2012b)

Tabla 19. Ficha técnica de Fernan Sanchez (Triplaris Cumingiana)

	NOMBRE COMÚN		SECADO	
	FERNÁN SANCHEZ		SE DEBE UTILIZAR HORARIOS ESPECÍFICOS PARA DIFERENTES ESPESORES	
	NOMBRE CIENTÍFICO			
	TRIPLARIS CUMINGIANA		DURABILIDAD	
	USO		MEDIANAMENTE RESISTENTE A HONGOS	
	MUEBLES		PRESERVACIÓN	
	TRABAJABILIDAD		ES NECESARIO PROTEGERLA DE AGENTES NOCIVOS	
Figura 72. Residuos de Fernan Sanchez TIENE BUEN PILIMENTO, SE RAJA FACILMENTE				
PROPIEDADES FÍSICAS				
DENSIDAD	VERDE	SECO AL AIRE	BÁSICA	
KG/M3	970	630	530	
CONTRACCIÓN NORMAL	TANGENCIAL	RADIAL	RELACIÓN T/R	
%	4,8	2,30	1,85	
PROPIEDADES MECÁNICAS				
FLEXIÓN ESTÁTICA	ELP	MOR	MOE	
KG/CM2-TON/CM2	489 KG/CM2	1019 KG/CM2	128 TON/CM2	
COMPRESIÓN PARALELA	ELP	MOR	MOE	
KG/CM2-TON/CM2	516 KG/CM2	N/A	N/A	
COMP. PERPENDICULAR	ELP		MOE	
KG/CM2-TON/CM2	62 KG/CM2		N/A	
DUREZA	LADOS		EXTREMOS	
KG	484		667	

ELP: ESFUERZO EN EL LÍMITE PROPORCIONAL


MOE: MÓDULO DE ELASTICIDAD

MOR: MÓDULO DE RUPTURA

ER: ESFUERZO DE RUPTURA

Fuente: Vinueza, (2012f)

Tabla 20. Ficha técnica de Chanul (*Humiriastrum Procerum*)

	NOMBRE COMÚN		SECADO	
	CHANUL		DIFÍCIL DE SECAR AL AIRE LIBRE, PRESENTA RAJADURAS EN LOS EXTREMOS	
	NOMBRE CIENTÍFICO			
	HUMIRIASTRUM PROCERUM		DURABILIDAD	
	USO		MEDIANA DURABILIDAD NATURAL	
	ESTRUCTURAL			
	TRABAJABILIDAD		PRESERVACIÓN	
Figura 73. Residuos de Chanul	TRABAJAR CON HERRAMIENTAS DE DIENTES CALZADOS		FÁCIL DE PRESERVAR	
PROPIEDADES FÍSICAS				
DENSIDAD	VERDE	SECO AL AIRE	BÁSICA	
KG/M3	1080	870	690	
CONTRACCIÓN NORMAL	TANGENCIAL	RADIAL	RELACIÓN T/R	
%	5,8	3,6	18,5	
PROPIEDADES MECÁNICAS				
FLEXIÓN ESTÁTICA	ELP	MOR	MOE	
KG/CM2-TON/CM2	936,8 KG/CM2	136,2 KG/CM2	181,1 TON/CM2	
COMPRESIÓN PARALELA	ELP	MOR	MOE	
KG/CM2-TON/CM2	936,8 KG/CM2	136,2 KG/CM2	183,1 TON/CM2	
COMP. PERPENDICULAR	ELP		MOE	
KG/CM2-TON/CM2	53,8 KG/CM2		100,4 TON/CM2	
DUREZA	RADIAL		TANGENCIAL	
KG	828,8		823,9	

ELP: ESFUERZO EN EL LÍMITE PROPORCIONAL


MOE: MÓDULO DE ELASTICIDAD

MOR: MÓDULO DE RUPTURA

ER: ESFUERZO DE RUPTURA

Fuente: Escobar & Rodriguez, (1994)

Tabla 21. Ficha técnica de Cedro (Cedrela Odorata)

	NOMBRE COMÚN		SECADO	
	CEDRO		LENTO, BAJA	
	NOMBRE CIENTÍFICO		PROBabilidad DE	
	CEDRELA ODORATA		DEFORMACIONES, ALTA	
	USO		EXUDACIÓN DE RESINAS	
	CARPINTERÍA EN GENERAL		DURABILIDAD	
	TRABAJABILIDAD		ALTA DURABILIDAD NATURAL	
Figura 74. Residuos de Cedro	TRABAJAR CON HERRAMIENTAS DE DIENTES CALZADOS		PRESERVACIÓN	
PROPIEDADES FÍSICAS				
DENSIDAD	VERDE	SECO AL AIRE	BÁSICA	
KG/M3	760	490	380	
CONTRACCIÓN NORMAL	TANGENCIAL	RADIAL	RELACIÓN T/R	
%	3,9	5,5	9,6	
PROPIEDADES MECÁNICAS				
FLEXIÓN ESTÁTICA	ELP	MOR	MOE	
KG/CM2-TON/CM2	495 KG/CM2	779 KG/CM2	87 TON/CM2	
COMPRESIÓN PARALELA	ELP	MOR	MOE	
KG/CM2-TON/CM2	254 KG/CM2	183,1 KG/CM2	183,1 TON/CM2	
COMP. PERPENDICULAR	ELP		MOE	
KG/CM2-TON/CM2	22 KG/CM2		N/A	
DUREZA	TANGENCIAL		EXTREMOS	
KG	286		416	

ELP: ESFUERZO EN EL LÍMITE PROPORCIONAL

MOE: MÓDULO DE ELASTICIDAD

MOR: MÓDULO DE RUPTURA

ER: ESFUERZO DE RUPTURA

Fuente: Vinueza, (2012d)

Tabla 22. Ficha técnica de Bambú (*Guadua Angustifolia* Kunth)

	NOMBRE COMÚN		SECADO		
	BAMBÚ		FÁCIL SECADO AL AIRE LIBRE, PRESENTANDO RAJADURAS EN LOS EXTREMOS		
	NOMBRE CIENTÍFICO				
	GUADUA ANGUSTIFOLIA K.		DURABILIDAD		
	USO		MUY SUSCEPTIBLE		
	ESTRUCTURAL		PRESERVACIÓN		
	TRABAJABILIDAD		MEDIANAMENTE DE PRE-SERVAR DEBIDO AL ALTO CONTENIDO DE SILICE		
Figura 75. Bambú de planta ecomateriales		FÁCIL DE TRABAJA, ALTO INDICE DE SILICE			
PROPIEDADES FÍSICAS					
DENSIDAD	VERDE	SECO AL AIRE	BÁSICA		
KG/M3	790	520	430		
CONTRACCIÓN NORMAL	LONGITUDINAL	ESPESOR	DIÁMETRO		
%	0,4	5,2	8		
PROPIEDADES MECÁNICAS					
FLEXIÓN ESTÁTICA	ELP	MOR	MOE		
KG/CM2-TON/CM2	375 KG/CM2	221 KG/CM2	11,57 TON/CM2		
COMPRESIÓN PARALELA	ELP	MOR	MOE		
KG/CM2-TON/CM2	439 KG/CM2	225,76 KG/CM2	117,9 TON/CM2		

ELP: ESFUERZO EN EL LÍMITE PROPORCIONAL

MOE: MÓDULO DE ELASTICIDAD

MOR: MÓDULO DE RUPTURA

ER: ESFUERZO DE RUPTURA

Fuente: Sánchez Escobar, (2020)

4.4. Selección de especies recolectadas

Una vez revisadas las fichas técnicas, la normativa EN 338 y la cantidad de residuo obtenido de cada especie, se opta por utilizar el Laurel (*Cordia alliodora*), Balsa (*Ochroma Pyramidale*) y Bambú (*Guadua Angustifolia Kunth*). Estas se encuentran dentro del rango de densidad, tienen un nivel menor de riesgo de extinción, y presentan un crecimiento rápido. Se consideró la disponibilidad del mercado, factor muy importante para la obtención de material residual.

Se realizó una investigación sobre las bondades de cada especie, proyectos relacionados a nivel nacional, la descripción científica y anatómica de su estructura.

4.4.1. Laurel

La *Cordia Alliodora* tiene varios nombres en el Ecuador como lo son laurel, laurel tropical, laurel blanco, laurel corazón negro, laurel castaño, y laurel de puná. Es un árbol caducifolio, de la familia Boraginaceae, de 18 a 25 m de altura y 50 cm de DAP (diámetro a la altura del pecho), con albura de color marrón, vetado con arcos superpuestos definidos por anillos de crecimiento, parénquima axial y líneas vasculares contrastados con vetas oscuras y bandas anchas encontrados con tonos dorados; duramen de color marrón amarillento, grano normalmente recto, textura fina y homogénea; y lustre regular pero alto en la superficie radial. Sus requerimientos edafoclimáticos son suelos profundos, franco arenosos y franco arcillosos, moderadamente bien drenados, preferentemente de origen aluvial y ricos en materia orgánica, aunque igualmente tolera todos los tipos de suelo de bosque húmedo tropical. Sin embargo, es muy exigente en condiciones de sitio, por ejemplo, en plantaciones puras, su rendimiento no es el deseado y necesita mantenimiento. (Aguirre, 2012; Ministerio del Ambiente del Ecuador & Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2014; Vinueza, 2012c)

Presenta en su estructura microscópica porosidad difusa, es decir, no cambian su diámetro en todo el anillo de crecimiento; y poca conexión entre los poros y las células de parénquima axial, esta última de tipo marginal. La especie de *Cordia alliodora* no presenta células de traqueidas. Es de fácil trabajabilidad con buenas características mecánicas, apta para aplicaciones en adhesivos al calor, acabados, resistente al ataque de hongos y pudrición debido a su alto contenido de humedad, expresado como la cantidad de agua contenida en una pieza de madera, en porcentaje del peso anhidro de la misma. (González-Luna & Cruz-Castillo, 2021)

El laurel ha sido sobreexplotado por su valor comercial y por actividades de conversión del uso de la tierra para el desarrollo de sistemas agro forestales, ésta especie ha sido evaluada e identificada como especie clave para el mantenimiento de la integridad ecológica. (Indacochea-Ganchozo, 2011, como se citó en Universidad Estatal del Sur de Manabi et al., 2019)

Es reconocida entre las 10 especies prioritarias para la reforestación y creación de plantaciones comerciales (Grijalva et al., 2012), atada a un incipiente programa de conservación del germoplasma por el DENAREF-INIAP con una accesión (Tapia et al., 2008). La especie es sometida a estudios de crecimiento y fenología por la Universidad Técnica Estatal de Quevedo (UTEQ) para el establecimiento de colecciones de fomento de plantaciones y dentro de las especies priorizadas dentro del Programa Nacional de Investigación, Conservación y Reforestación al ser una especie en gestión activa comercial y ambiental. (Universidad Estatal del Sur de Manabi et al., 2019, p. 52)

Gracias a las buenas características de trabajabilidad, es una especie apta para plantaciones forestales de escala industrial. La demanda de esta especie es sostenida, con altas probabilidades de incrementarse. Estos árboles por medio de sus sistemas agroforestales se presentan como una fuente de ingreso adicional a los cultivos. Es útil en la regeneración de bosques nativos por su amplia dispersión, los tocones de los arboles jóvenes emiten muchos retoños lo cual facilita su propagación por pseudo estaca. Su explotación comercial puede variar entre 5 a 20 años dependiendo del cuidado y el tipo de suelo, siendo 5 años en buenos suelos y 20 años en malas condiciones, en donde los árboles alcanzan 25 a 50m de altura. (Vinuesa, 2012c)

Se considera a *C. alliodora* como primordial en el mantenimiento de la integridad del ecosistema, de la dinámica forestal; la recuperación de la estructura, riqueza y diversidad. (Universidad Estatal del Sur de Manabi et al., 2019, p. 89)

La Asociación Artesanal Agroforestal KANUS (ASOKANUS), es la encargada de promover el manejo de bosques y el buen aprovechamiento del recurso maderero, procurando las cortas ilegales. La asociación compra madera de las especies seike (*Cedrelinga catenaeformis*), canelón y laurel a miembros de las comunidades Shuar, en el cantón Twinza, siempre y cuando estas especies sean producto de un bosque manejado. La madera es acopiada en un centro de acopio de la asociación, para luego ser comercializada en el mercado nacional, principalmente en Quito. El aprovechamiento controlado

del bosque nativo ha generado empleo para las familias de la comunidad y ha permitido un incremento de sus ingresos. El ingreso promedio anual de una familia Shuar asociada a ASOKANUS es de USD 2 012, de los cuales el 50% proviene de la venta de productos del bosque, principalmente madera, el 37% de otras fuentes (p. ej. minería), el 8% de la agricultura y el 5% de la cría de animales. (Sabogal & Casaza, 2010, pp. 215–216)

4.4.2. Balsa

Ochroma Pyramidale, es el nombre científico de la especie de balsa ecuatoriana. La misma tiene varios nombres comunes en su haber como balsa, boya balsa, ceibo, yana balsa, palo de balsa, topa, Huambo, Lanilla y Guano. Pertenece a la familia de las Malvaceae, crece hasta 30 m de altura con un DAP (diámetro a la altura del pecho) de 70 cm. Su albura es blancuzca, con transición gradual al duramen el cual es rosado o marrón pálido; el veteado es subvente satinado, visible por las líneas de los vasos de color más intenso; el grano es recto a entrecruzado y la textura es media a gruesa. La balsa necesita de suelos de arcillosos, margosos, limosos y bien drenado para un correcto crecimiento. No tolera suelos de alta salinidad y no tolera la sombra, es decir es heliófila. (Ministerio del Ambiente del Ecuador & Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2014; Moncayo Galárraga, 2017; Vinuesa, 2012e)

De acuerdo a Da Silva & Kyriakides, (2007), la estructura microscópica de la balsa se conforma de traqueidas en un 80 a 90% del volumen de la madera, que son células alargadas, delgadas, alineadas axialmente en todo el largo del árbol, dispuestas en los anillos de crecimiento. Debido a su baja densidad absorbe grandes cantidades de energía específica, siendo apta como núcleo para paneles tipo sándwich aplicados en aeronáutica, transporte, energía eólica, etc. La microestructura celular de la balsa presenta un volumen de espacio vacío que le confiere una resistencia axial específica y hasta superior en comparación a otros materiales.

La madera de balsa se destaca por su ligereza, causada por su bajo nivel de lignificación, proceso el cual se erradican las cavidades dentro de células que sufren cambios químicos a medida que el árbol madura, dando lugar a la deposición de la lignina. En la madera de balsa, cuando maduran sus células, solo tienen paredes más delgadas y esto es la razón de su ligereza. (Moncayo Galárraga, 2017)

La balsa es usada para artesanías, maquetas, para aeromodelismo y table-ros alistonados alivianados en construcción por su factor de aislante térmico, acústico y eléctrico. Se caracteriza por ser de fácil trabajabilidad y tener gran demanda a nivel internacional.

Ecuador es productor y exportador líder en el mercado internacional de balsa por su rápido crecimiento y plantaciones rentables a corto plazo, siendo aptas a los 4 o 6 años. La empresa MADERTROP, ubicada en Yaguachi, está afiliada a la Asociación Ecuatoriana de la Industria Forestal y de la Madera (AIMA), misma que se encarga de gestión de proyectos y convenios interinstitucionales para el bien de la industria forestal nacional. (Vinueza, 2012e)

4.4.2.1. Exploración de oportunidades de trabajo en conjunto con el sector balseiro.

Se efectuó el 9 de marzo una reunión patrocinada por PROBALSA y Pro – Ecuador, en el Ministerio de Producción de Guayaquil, para analizar posibilidades en el sector de la balsa en el país. La reunión tuvo como objetivo principal presentar a las Oficinas comerciales del Ecuador (OCE), a la balsa como primer producto de exportación en el sector, viendo oportunidades en el desarrollo de la industria y las posibilidades para el mercado eólico. Adicional se manifestó la importancia para la I+D de la balsa, viendo potenciales aplicaciones innovadoras en el sector de la construcción y el de compuestos.

Se definieron actividades para el reposicionamiento de la balsa en el país, gracias a la colaboración de la viceministra de Promoción de Exportaciones e Inversiones. Existe un compromiso de parte del Ministerio de Producción, Comercio Exterior, Inversiones y Pesca por reposicionar a la balsa como producto importante del Ecuador a través de certificados con marca sectorial. (Asociación Ecuatoriana de la Industria Forestal y de la Madera, 2023, p. 7)

4.4.2.2. Cooperación entre Ecuador y China en el sector de Balsa

El AIMA junto con el consejero Económico y Comercial de la embajada de China, Chen Feng y la Viceministra de Promoción de Exportaciones, Ana María Gallardo, a través de una reunión realizada el 23 de marzo, se enfocan en fortalecer las exportaciones de balsa y productos derivados, principalmente en productos de valor agregado, como bloques y paneles. Se incentiva al trabajo conjunto con organizaciones internacionales como GGSC (Global Green Supply Chain) y la organización internacional de maderas tropicales (ITTO, por sus siglas en inglés), para dar cabida a exportaciones de madera con un

enfoque de sostenibilidad. (Asociación Ecuatoriana de la Industria Forestal y de la Madera, 2023, p. 8)

El manejo forestal de la balsa se basa en un rodal coetáneo, el cual se define como un árbol de una clase de edad (coetáneo) y con un rango de edad al inicio del rodal de no más del 20% de una rotación. Al final del ciclo, los bosques coetáneos son regenerados o plantados y aprovechados eliminando todos o la mayoría de los árboles del rodal. Por lo tanto, no existe una sobreposición en un lugar de una generación a otra. (Gadow, 2004)

El manejo de rodales coetáneos es beneficioso para especies intolerantes a la sombra como el Pigue, Laurel, Pino y Gemelia. Los costos de establecimiento y aprovechamiento, por otro lado, son relativamente bajos en comparación con los costos de manejo y explotación de especies disetáneas. Por esta razón y otras de tipo silvicultural, cuando el objetivo principal del manejo forestal es la producción de fibras para la industria, el establecimiento de plantaciones coetáneas tiende a ser favorecido. (Cañadas et al., 2016, p. 135)

4.4.3. Bambú

El bambú se ha convertido en una alternativa interesante, siendo un material de construcción más respetuoso con el medio ambiente. Las características como la tasa de crecimiento rápido y la alta relación resistencia-peso hacen del bambú un material alternativo prometedor para la construcción. De un total de 1250 especies de bambú en todo el mundo, solo unas pocas se consideran aptas para la construcción: *Bambusa balcooa*, *Bambusa nutans*, *Bambusa polymorpha*, *Gigantochloa apus*, *Guadua amplexifolia*, *Guadua angustifolia*, *Phyllostachys pubescens*, entre otras. (Verma & Chariar, 2012)

Varias especies gigantes de bambú se han utilizado con fines de construcción en el sur y este de Asia, así como en América Central y del Sur. En concreto, la *Guadua angustifolia* Kunth es una especie gigante de bambú que crece de forma natural en algunos países de América Central y del Sur, como Colombia, Venezuela, Ecuador, México, Costa Rica y Brasil. En estos países, la gente lo ha utilizado como materia prima estructural para la construcción vernácula; *guadua angustifolia* no sólo presenta propiedades físicas y mecánicas adecuadas para fines estructurales, sino que también tiene un rápido ritmo de crecimiento ya que su madurez se alcanza entre los 3 y 4 años. (Correal et al., 2014)

Es una planta de tallo erecto con una acanaladura notable en el punto de unión de las ramas y un tallo ampliamente arqueado en la parte superior con huecos intermedios. Los culmos *guadua* son cilindros huecos con diámetros de 1 a 22 cm y 1 a 30 m de altura. Los diafragmas separan los nodos de una

caña mientras disminuye su longitud desde la base hasta la punta. Parcialmente, el culmo de la caña está protegido de la pérdida de agua por su dura y brillante cutícula exterior de sílice, la cual le da su resistencia. Las fibras son las principales responsables de la fuerza que pueden soportar y no se distribuyen uniformemente alrededor de la sección; en cambio, se concentran de 40 a 70 % en la parte exterior del culmo y de 15 a 30 % en la parte interior. Dependiendo de la especie y su ubicación en la sección transversal, las fibras están dirigidas a lo largo del eje longitudinal del culmo con un diámetro aproximado de 0,08 a 0,7 mm. Se conectan a través de los nodos que ingresan parcialmente al diafragma y las ramas. (Burgos et al., 1997; Córdova Alcívar, 2014)

La clasificación taxonómica de la caña guadua es la siguiente según Tapia Zúñiga & Rezabala Salguero, (2021) :

- Familia: Poaceae
- Subfamilia: Bambusoideae
- Tribu: Bambuseae
- Subtribu: Guaduinae
- Género: Guadua
- Nombre científico: *Guadua angustifolia*
- Nombre común: Caña guadúa

La guadúa crece en alturas entre los 0 y los 1800 metros sobre el nivel del mar, con una luminosidad anual de 1800 a 2000 horas y unas 5 a 6 horas de diarias. La temperatura ideal es de 20 a 30 grados Celsius, la humedad es de 75 a 80 por ciento y las precipitaciones son de 2000 mm a 2500 mm por año. (Mercado Cevallos, 2015)

4.4.3.1. Oportunidades del bambú a nivel nacional

En Ecuador existe sede de la organización de desarrollo multilateral INBAR, por sus siglas en inglés International Bamboo and Rattan Organization. Recientemente el INBAR ha realizado una serie de actividades en concordancia con gobiernos de latino América, incluidos Ecuador, para promover el desarrollo del bambú como material sostenible frente al cambio climático.

Junto con el gobierno de Ecuador y la AECID (Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo), se completó un prototipo de casa sostenible de bambú como parte del proyecto de la Escuela Taller de Manabí en Construcción Sostenible de Viviendas de Bambú. Desde 2019, INBAR ejecuta el proyecto Bambuzonía en toda la región amazónica de Colombia,

Ecuador y Perú, con financiación del FIDA (Fondo Internacional de Desarrollo Agrícola). El proyecto aprovecha el potencial del bambú para abordar la degradación de la tierra, la deforestación y el cambio climático, al tiempo que refuerza los medios de vida en las comunidades rurales. En 2022 se observaron grandes avances a medida que se desarrollaban los trabajos del proyecto. En cuanto a la gobernanza, en Ecuador se anunció un plan de desarrollo del bambú para las provincias de la Amazonia. Perú formalizó su Estrategia Nacional de Desarrollo del Bambú (2022-2025), y Colombia aprobó una Ley Nacional (nº 2206) para fomentar el uso productivo del bambú.

En 2022, INBAR dio grandes pasos en la defensa de la educación sobre el bambú en Ecuador. Con financiación de la AECID, se creó la Red Internacional de Universidades y Centros de Investigación relacionados con el bambú (RIUCI bambú), que reúne a 35 instituciones académicas de 11 países.

El bambú es especial en Ecuador por varias razones. El país alberga ricos recursos naturales de bambú, pero a menudo se pasan por alto en contextos académicos. Especialmente ahora, en la era del cambio climático, cuando la atención mundial se está desplazando hacia el desarrollo y la utilización de materiales sostenibles y renovables con bajo impacto ambiental en el sector de la construcción, el proyecto desempeña un papel importante al vincular la investigación y la innovación con los objetivos sociales sostenibles. La investigación y la innovación con el desarrollo sostenible de la sociedad y el mercado. (International Bamboo and Rattan Organization, 2023)

4.4.3.2. Normativa

La normativa NEC – SE – GUADÚA: Estructuras de Guadua (Gak), donde especifica requisitos, condicionantes, métodos de preservación y todo lo relacionado al buen uso del bambú para la construcción. Adicional se cuenta con la “Norma Andina para diseño y construcción de casas de uno y dos pisos en bahareque encementado”, donde se hace una guía con criterios para construcción con bambú y bahareque, el cual es un sistema de entramado para muros compuesto de caña guadua como estructura y recubrimiento de mortero sobre malla.

Es necesario, de acuerdo con las especies de maderas seleccionadas para el CLT, incentivar las plantaciones de balsa, laurel y bambú, que en un futuro se pueden utilizar en gran medida, gracias a la demanda de las especies y sus buenas características.

4.5. Recolección de materia prima

En base a la información levantada sobre las especies mas comercializadas, teniendo referencias de sitios en cantones aledaños a la ciudad de Guayaquil, realizando las búsquedas necesarias en maps, se establecen días y rutas para las visitas, ya que se tomó en cuenta que no se podía viajar todos los días de una semana de manera seguida.

Los días preferenciales de viajes fueron entre miércoles, jueves, viernes y sábados, basándonos en la disponibilidad del dueño en atendernos y del material residual, ya que los últimos días de la semana es cuando se tenía mayor cantidad de residuos.

Se tuvo a disposición un vehículo propio de uno de los integrantes del equipo (figura 76) para el transporte del material desde su lugar de origen hasta la planta de ecomateriales en Duran para el almacenamiento progresivo (figura 77).

Figura 76. Transporte de material residual



Fuente: Elaboración propia

Figura 77. Almacenamiento en planta de ecomateriales



Fuente: Elaboración propia

Una vez finalizados los viajes y almacenado el material se procedió a clasificar por especie todo el material recolectado (figura 78)

Figura 78. Clasificación por especie



Fuente: Elaboración propia

4.6. Procesamiento de residuo

Previo al registro de las especies residuales, se almacenaron por tres semanas en la planta de ecomateriales de la UCSG, tiempo que duraron los viajes.

Seguido de realizar los viajes necesarios para la obtención del material y agrupar los residuos por especie, se registran datos como humedad, espesor promedio y peso total (figura 79, tabla 25 y tabla 26), para posteriormente hacer un análisis del aprovechamiento del material, en la elaboración de muestras. Se analizó la cantidad de residuos recolectados junto con la investigación previa realizada para definir las especies a usar.

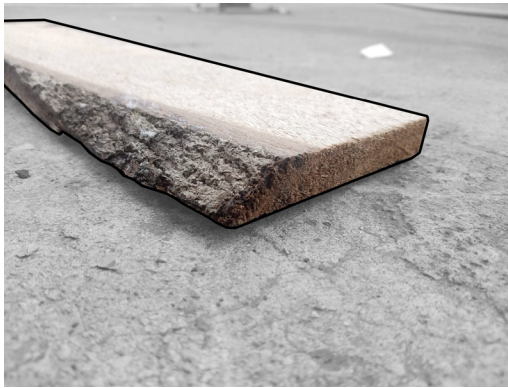
Figura 79. Registro de datos



Fuente: Elaboración propia

Posteriormente se realizó una clasificación visual de las especies recolectadas, para verificar los defectos que presentaban y se descartaron maderas ya que mayormente presentaban defectos de arista faltante, nudo arracimado y en menor cantidad, duramen quebradizo y nudo hueco (figura 80).

Figura 80. Defectos visuales. (a) arista faltante. (b) duramen quebradizo. (c) nudo arracimado. (d) nudo hueco



(a)



(b)



(c)



(d)

Fuente: Elaboración propia

Adicional se observó, que las dimensiones de los residuos no permitían un diseño de panel mayor a 50 x 50 cm y un ancho no mayor a 10 cm, por lo tanto se definió el diseño del panel en función de las dimensiones de los residuos y referencias en trabajos anteriores como Llerena Pillaca & Paco Gomez, (2020), que definieron un espesor de panel de 4,5 cm.

De acuerdo con Harte, (2017) el número de capas que componen un panel de CLT son siempre números impares, ya sea 3, 5 o 7 y el espesor para un panel CLT debe de ser cuatro veces el espesor de la capa que lo compone. Esto permite que se reduzcan fallas por cizallamiento.

Tabla 23. Rango de dimensiones de paneles de CLT

		Metros / Milímetros
Láminas	Espesor	10 mm – 45 mm
	Ancho	80 mm – 240 mm
	Largo	3 – 4.8 m
Panel	Largo	16.5 – 30 m
	Espesor	42 – 500 mm

Fuente: Karacabeyli & Gagnon, (2019)

Se tomaron medidas de los residuos de Laurel, Balsa y bambú, para verificar que las láminas de madera se encuentre dentro del rango de dimensiones establecidos en la tabla 23 (figura 81).

La madera de laurel se obtuvo de la Maderera Tiffany 2 ubicada en Vía a la Costa Km 22, la balsa desde la empresa Maderotrop S.A ubicada en la Vía Yaguachi pasando el peaje y el bambú fue proporcionado al equipo desde la planta de ecomateriales.

Figura 81. Clasificación de madera según sus dimensiones



Fuente: Elaboración propia

Se realizó una cuantificación de tablas necesarias (tabla 24) en función de la totalidad para cada especie (Laurel, Balsa y Bambú). Esto quiere decir que consideramos una cantidad total por las 18 muestras de 48 x 48 x 4,5 cm dejando tolerancia dimensional de longitud de ± 7 cm por tabla, para el posterior escuadre. Por cada integrante hay un total de 6 muestras de CLT (3 muestras de 3 capas y 3 muestras de 5 capas).

Tabla 24. Cantidad tablas por especie

Especie/ cantidad	Muestras de tres capas	Muestras cinco capas	Total
Laurel	45	75	120
Balsa	30	60	90
Bambú	60	90	150

Fuente: Elaboración propia

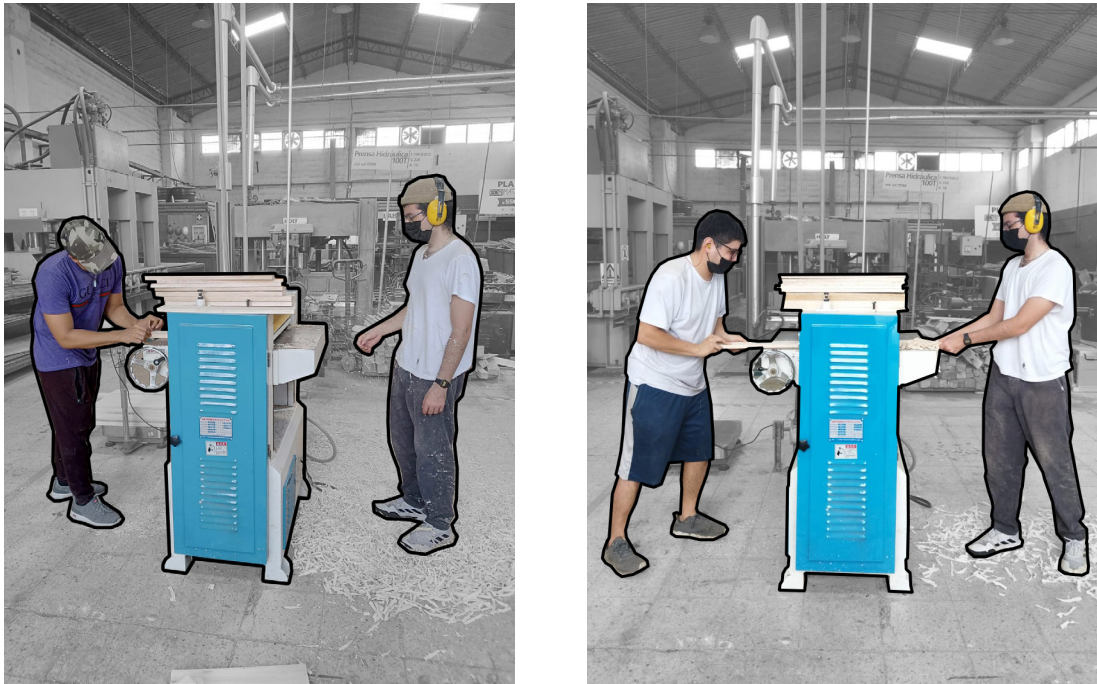
Una vez obtenidos estos datos, se procede a los trabajos de corte longitudinales en las mesas de sierra, cortes transversales en la ingletadora y cepillado en la cepilladora de una sola cara (figuras 82, 83 y 84). Se cortaron tablas a una dimensión nominal de 10 x 55 (ancho x largo) y cepillaron a 1,5 cm (espesor).

Figura 82. Cortes longitudinales en mesas de sierra



Fuente: Elaboración propia

Figura 83. Cepillado de residuos



Fuente: Elaboración propia

Figura 84. Corte transversal en ingletadora



Fuente: Elaboración propia

Se incluyó el bambú como parte de la experimentación por sus antecedentes en trabajos de paneles laminados con caña prensada y encolada. Algunas de las patentes de la Universidad Católica Santiago de Guayaquil en lo que respecta ecomateriales a base de guadua son el plas-bam, ecu-bam, ester-bam y trip-bam.

La planta de ecomateriales proporcionó al equipo de investigación la guadua en cañas rollizas para posterior procesamiento. Se cortaron las cañas en la máquina latilladora ubicando una punta de la caña en el empuje, cortándola en dos mitades. (figura 85)

Una vez obtenidas las cañas cortadas longitudinalmente, se procede a la eliminación de los nudos usando un martillo convencional hasta dejar la cara interna de la caña limpia (figura 86 y 87).

Posteriormente se procede al prensado de las cañas a una temperatura de 105 ° C, y a 2250 kg/cm² de presión.

Figura 85. Latillado de la caña guadua



Fuente: Elaboración propia

Figura 86. Eliminación de nudos



Fuente: Elaboración propia

Las tiras de caña, al igual que el laurel y la balsa, se cortaron de 10 x 55 (ancho x largo) y cepillaron hasta tener un espesor nominal de 1 cm en promedio, ya que el bambú por su geometría presenta irregularidades.





Figura 87. Eliminación de nudos



Fuente: Elaboración propia

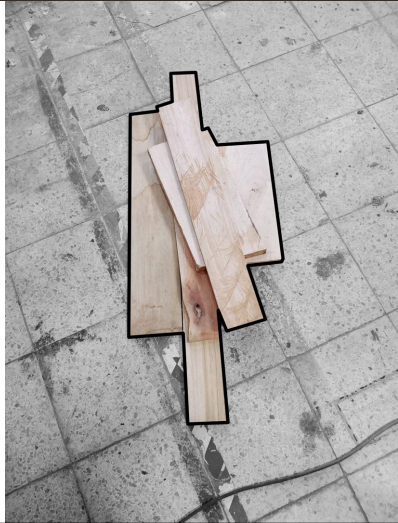


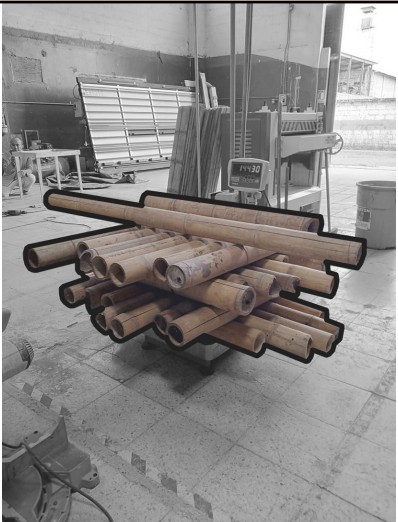
En la tabla 27, 28 y 29 se demuestra gráficamente el aprovechamiento del material recolectado en base a todo el procedimiento previo de clasificación, descarte, corte y cepillado.

Tabla 25. Datos físicos de balsa, teca, laurel y pachaco recolectados

BALSA			TECA		
					
Figura 88. Residuo de balsa			Figura 90. Residuo de teca		
PESO TOTAL	HUMEDAD PROMEDIO	ESPELOR PROMEDIO	PESO TOTAL	HUMEDAD PROMEDIO	ESPELOR PROMEDIO
20,27KG	13,43%	4,83CM	11,33KG	14,25%	3,45CM
LAUREL DE LA COSTA			PACHACO		
					
Figura 89. Residuo de laurel			Figura 91. Residuo de Pachaco		
PESO TOTAL	HUMEDAD PROMEDIO	ESPELOR PROMEDIO	PESO TOTAL	HUMEDAD PROMEDIO	ESPELOR PROMEDIO
158,66KG	13,07%	3,77CM	1,49KG	11,9%	2,5CM

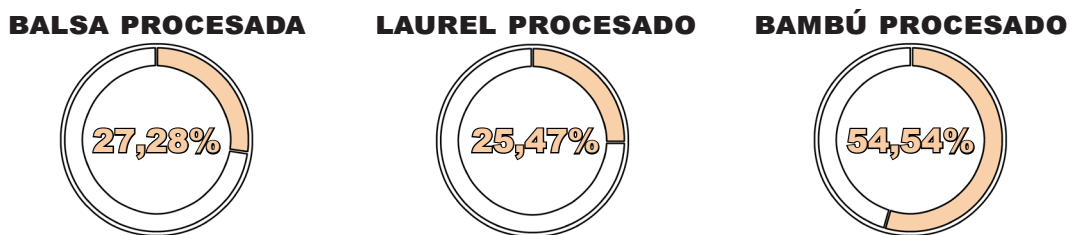
Fuente: Elaboración propia

Tabla 26. Datos físicos de Fernan Sanchez, Chanul, Cedro y Bambú

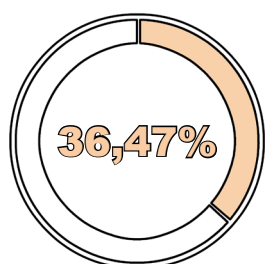
FERNÁN SANCHEZ			CHANUL		
					
Figura 92. Residuo de Fernan Sanchez			Figura 93. Residuo de Chanul		
PESO TOTAL	HUMEDAD PROMEDIO	ESPESOR PROMEDIO	PESO TOTAL	HUMEDAD PROMEDIO	ESPESOR PROMEDIO
6,30KG	14,6%	2,17CM	2,40KG	14,8%	1,8CM
CEDRO			BAMBÚ		
					
Figura 95. Residuo de Cedro			Figura 94. Bambú seleccionado		
PESO TOTAL	HUMEDAD PROMEDIO	ESPESOR PROMEDIO	PESO TOTAL	HUMEDAD PROMEDIO	ESPESOR PROMEDIO
2,81KG	20,35%	3,77CM	106,95KG	15,03%	1,64CM

Fuente: Elaboración propia

Tabla 27. Estimación de cantidad procesada de material recolectado





RESIDUO TOTAL UTILIZADO



De acuerdo con los datos obtenidos se concluye que el 36,47% del material recolectado puede utilizarse para la elaboración de paneles clt para la construcción.



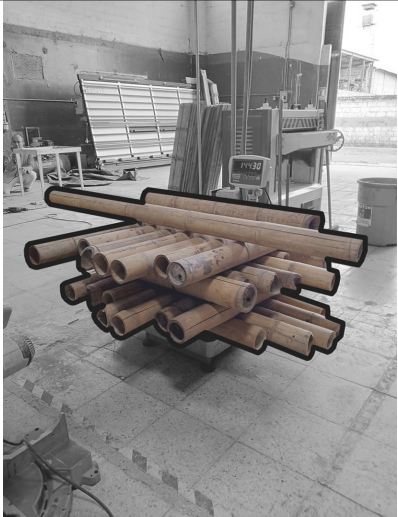

El 63,53% restante se puede utilizar para tableros de menor dimensión con los que se puede trabajar distintos tipos de mobiliario.

Tabla 28. Balsa procesada

BALSA SIN PROCESAR			BALSA PROCESADA		
					
Figura 96. Balsa sin procesar			Figura 97. Balsa procesada		
PESO TOTAL	HUMEDAD PROMEDIO	ESPESOR PROMEDIO	PESO TOTAL	HUMEDAD PROMEDIO	ESPESOR PROMEDIO
20,27kg	13,43%	4,83cm	5,53kg	13,43%	1,5cm

Fuente: Elaboración propia

Tabla 29. Laurel y bambú procesados

LAUREL SIN PROCESAR			LAUREL PROCESADO		
					
Figura 98. Laurel sin procesar			Figura 100. Laurel procesado		
PESO TOTAL	HUMEDAD PROMEDIO	ESPESOR PROMEDIO	PESO TOTAL	HUMEDAD PROMEDIO	ESPESOR PROMEDIO
158,66KG	13,07%	3,77CM	40,41KG	13,07%	1,5CM
BAMBÚ SIN PROCESAR			BAMBÚ PROCESADO		
					
Figura 99. Bambú sin procesar			Figura 101. Bambú procesado		
PESO TOTAL	HUMEDAD PROMEDIO	ESPESOR PROMEDIO	PESO TOTAL	HUMEDAD PROMEDIO	ESPESOR PROMEDIO
106,95KG	15,03%	1,64CM	58,33KG	15,03%	1,00CM

Fuente: Elaboración propia

4.7. Inmunización

Como se ha mencionado con anterioridad, el proceso de inmunizado en la madera es de vital importancia para evitar el ataque de agentes biológicos como insectos y hongos, y asegurar su durabilidad en el tiempo.

La normativa NEC-SE-MD señala que existen tres tipos de preservantes para madera: creosotas, oleosolubles u orgánicos, e Hidrosolubles o inorgánicos. (MIDUVI, 2015)

De acuerdo con la bibliografía revisada los preservantes hidrosolubles de sales de bórax y ácido bórico es una opción viable en la preservación de madera, ya que no representa mayor riesgo toxico, no requiere de métodos costosos y es de fácil aplicación.

Las sales de boro han sido utilizadas dentro de la industria de la madera como un buen preservante contra el ataque de todo tipo de organismos como hongos, barrenadores y escarabajos, termitas, etc., Además de inhibir la ignición de la madera y ralentizar la propagación de las llamas. Su característica principal es su poca toxicidad para los mamíferos, son inodoras, incoloras e incombustibles. Los compuestos de boro suelen ser algo corrosivos por lo que se debe de mezclar con otros derivados del oxido bórico o bórax para contrarrestar su efecto negativo. (Berrocal et al., 2021; Borofertil, s/f; Vaca de Fuentes, 1998)

Actualmente se ha comprobado la efectividad de las sales a base de bórax o borato de sodio (tetraborato de sodio) y ácido bórico (trihidróxido de boro) disueltos en agua, en la preservación por su difusión uniforme en el tejido leñoso, especialmente cuando este último presenta alto contenido de humedad. (Sotomayor Castellanos & Villaseñor Aguilar, 2016)

El panel CLT del presente proyecto es destinado para muros de interiores, por lo que la preservación por sales de boro es una opción ideal. Las sales de boro es un tipo de preservante hidrosoluble usado cuando la madera no entra en contacto directo con el suelo o esta expuesto a ambientes húmedos, ya que cuando las sales de boro entran en contacto con el agua, estas se disuelven en un proceso llamado lixiviación. (Sotomayor Castellanos & Villaseñor Aguilar, 2016)

Para la preservación con estas sales se usa el método por inmersión prolongada como sugiere la norma NEC-SE-MD, que consiste en sumergir la madera por un tiempo mínimo de 24 h y máximo de 48 h, donde la madera no absorbe más. Se puede hacer el método mediante grandes tanques industriales o tanques pequeños donde se contenga la solución.

Generalmente en todas las maderas la penetración de líquido longitudinalmente se lo realiza con facilidad, mas sin embargo en las direcciones transversales (tangencial y radial) presenta un mayor dificultad. La madera de balsa es una excepción ya que, al ser madera de conífera o blanda, con presencia de traqueidas dispuestas tangencialmente en los anillos de crecimiento, tiene una mínima dificultad de penetración de líquido. Es decir que es de fácil preservación por cualquier método y tipo de preservante. (Da Silva & Kyriakides, 2007; Vaca de Fuentes, 1998; Vinueza, 2012e)

De acuerdo con Sotomayor Castellanos & Villaseñor Aguilar, (2016), las sales de boro presentan buena penetración en la especie cordia alliodora por el método inmersión-difusión, siendo que en su albura y duramen existe una permeabilidad uniforme.

De acuerdo con la norma NEC – SE – GUADÚA: Estructuras de Guadua (Gak), la caña guadua al igual que la madera sufre de ataques por acción de factores bióticos (xilófagos o similares), ya que es un material orgánico constituido por celulosa, lignina y sílice. Se debe de inmunizar la guadua siempre previamente a usarla como elemento estructural o constructivo. (MIDUVI, 2015a)

El método de preservación para la guadua más usado, seguro a nivel toxicológico y rentable económicamente es la preservación química por sales de bórax y ácido bórico. Este método es usado a nivel local con frecuencia en guaduas rollizas secadas durante una semana como máximo, que aún conserven su color verde y que tengan un contenido de humedad de 30% para asegurar su penetración. Este proceso esta normalizado en la NEC – SE – GUADÚA: Estructuras de Guadua (Gak).

4.7.1. Procedimiento

La guadúa rolliza utilizada durante los procesos de corte y cepillado, ya fue inmunizado previamente, por lo cual el proceso de inmunización realizado por el equipo de trabajo se llevaron a cabo para las maderas de balsa y laurel.

Ambas especies presentaban un contenido de humedad de 13% en promedio, mas específicamente la balsa 13,43% y el laurel 13,07% (tabla 28 y 29).

Se usaron dos tanques de 55 galones cada uno, donde primero se vertió 30 galones en garrafones de 5 galones cada uno y 3 kilos de cada químico (bórax y ácido bórico) en función de la temperatura de la mezcla de sales, ya que al estar fría quiere decir que ya está apta para inmunizar (figura 102).

Figura 102. Inmunización en tanque de 55 gl



Fuente: Elaboración propia

Se sumergieron las tablas de maderas ya cortadas y cepilladas en el tanque a un duración de 48 hrs, que recomienda la norma para el proceso de preservación por inmersión.

Pasadas las 48 hrs se procede al secado de las maderas, mismo que se llevó a cabo dentro de las instalaciones de la planta de ecomateriales, donde fueron apiladas las tablas sobre un plástico para evitar el contacto directo con el piso (figura 103).

Figura 103. Secado de maderas



Fuente: Elaboración propia

Las maderas fueron apiladas al ambiente por una duración de 4 días, posterior se midió el contenido de humedad de las mismas para verificar que su contenido no supere el 15% que recomienda la norma UNE-EN 16351 para CLT. (figura 104)

Figura 104. Medición de humedad

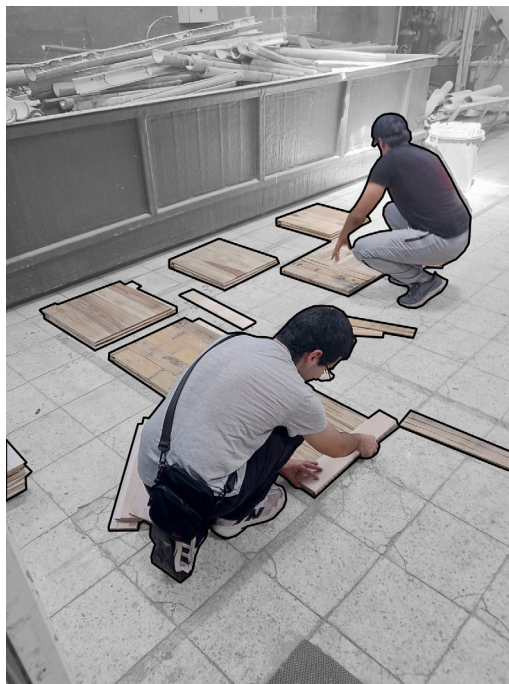


Fuente: Elaboración propia

4.8. Ensamblado y prensado de paneles CLT

Previo al ensamblado de los paneles, se disponen las tablas en el sentido que se desea colocar capa por capa (figura 105) y se llevan los paneles pre-ensamblados a la mesa donde se aplicará el adhesivo.

Figura 105. Preensamblado de paneles



Fuente: Elaboración propia

Una vez pre-ensamblados los paneles se procede a la preparación del adhesivo. De acuerdo a la bibliografía revisada en Nasli-Bakir & Lindberg, (2017) se descubre que existe un mejoramiento para la urea formaldehído combinado con acetato polivinílico, polímero que compone a la goma blanca o blanco-la como se le conoce comercialmente.

En la tesis propuesta por Donoso Sánchez, (2010), realizó pruebas de resistencia al corte en la línea de pegado, para determinar el mejor adhesivo a usarse en placas constructivas a base de guadúa, donde el pegante UF+PVA resultó tener mayor resistencia de 4,89 Mpa, en comparación con el UF que tuvo una resistencia de 3,47 Mpa.

En base a la literatura el equipo decide usar la combinación de pegante Urea-Formaldehído más blanco-la (PVA) para el ensamble de las muestras de CLT.

Se empieza vertiendo la cantidad de agua requerida de acuerdo a la cantidad de paneles a ensamblar en un balde plástico y puesto sobre una balanza digital dentro del laboratorio de la planta de ecomateriales, para medir el peso del pegante (figura 106).

La cantidad de agua depende de las cantidades de urea y blancola. Siguiendo la ficha técnica de la Urea se debe de colocar 100 partes de Urea y 50 partes de agua (2:1), sin embargo como se adiciona PVA a la fórmula, se debe de colocar otras 50 partes de agua para seguir con la proporción total del pegante.

Figura 106. Preparación pegante



Fuente: Elaboración propia

Una vez vertida el agua, se procede a la aplicación de Urea y blancola en proporciones iguales, es decir si se aplican 100 partes de urea, entonces son 100 partes de PVA (figura 107).

Se prepara le pegante con todos sus ingredientes en una mezcladora de químicos conectada a un control de velocidad marca Controls DART modelo 55AC Series (figura 108).

Figura 107. Colocación de adhesivos



Fuente: Elaboración propia

Figura 108. Preparación mezcla UF+PVA



Fuente: Elaboración propia

Luego de preparado el pegante se procede a su aplicación en las capas de las muestras. Se colocaron todas las capas de las muestras sobre una mesa de 2,44 x 1,22 m y se aplicó el pegante con una brocha convencional de 2 pulgadas (figura 109). Se ubicaron las tablas perpendicularmente a 90°C una encima de la otra para el posterior prensado en la maquina de 300 ton (figura 110).

Una vez puestas las muestras en el plato de la prensa, se baja el plato superior de manera manual, se observa que las capas no sufran deformaciones significativas y se espera por un tiempo aproximado de 2 hrs de prensado para cada tipo de panel (3 capas, 5 capas) (figura 111).

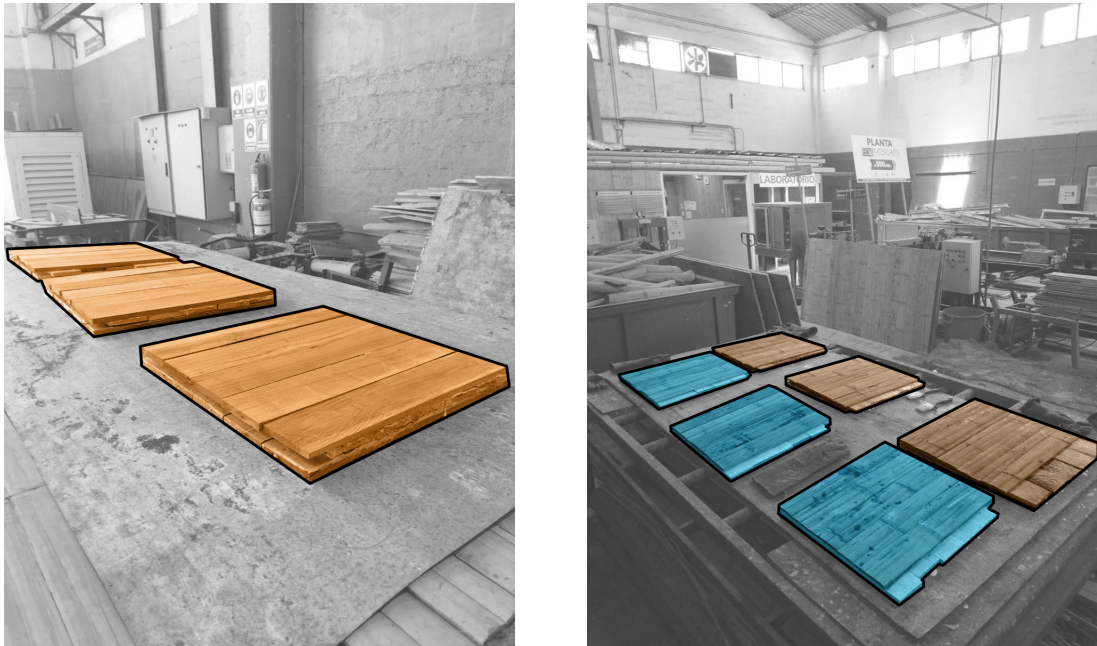
Todo el proceso descrito se lo realiza para los paneles de 3 capas y de 5 capas, teniendo cada grupo sus observaciones, medidas, cantidades de pegante desde la tabla 30 a la tabla 35 para paneles de 3 capas, y desde las tabla 36 hasta la tabla 41 para paneles de 5 capas.

Figura 109. Capas puestas en mesa



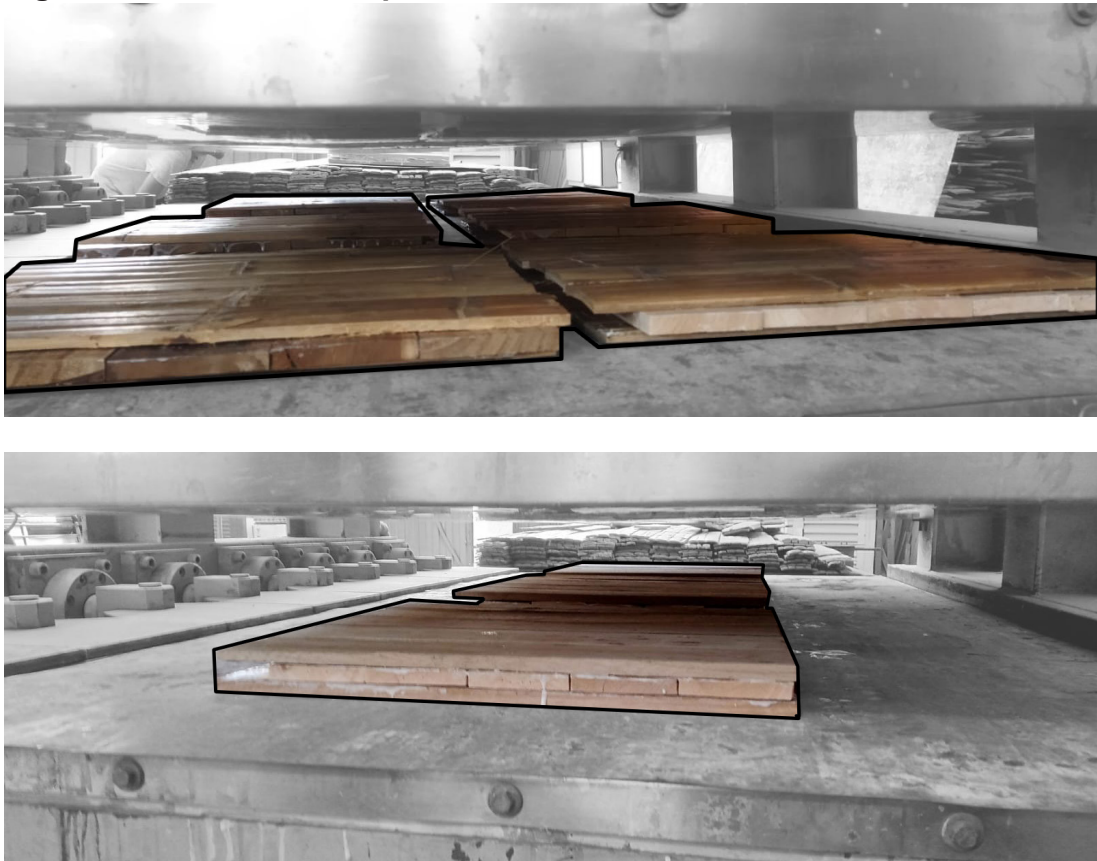
Fuente: Elaboración propia

Figura 110. Muestras armadas en mesa



Fuente: Elaboración propia

Figura 111. Muestras en prensa de 300 ton



Fuente: Elaboración propia

Tabla 30. Panel Alex Laurel Balsa 3 capas

ALB 301 	COMBINACIÓN DE ESPECIES	NÚMERO DE CAPAS
		LAUREL - BALSA
MEDIDAS DE LA MUESTRA	TIPO DE PEGANTE APLICADO	
48 x 48 CM	ÚREA FORMALDEHIDO + COLA BLANCA	
ORIENTACIÓN DE LAS CAPAS	ESPELOR DE LAS CAPAS	PORCENTAJE DE HUMEDAD
2 PAR. 1 PER.	1.5 CM	11.93%
CANTIDAD DE PEGANTE APLICADO	ÁREA (CM2)	VOLUMEN (CM3)
277 G	2304 CM2	10358,78 CM3
CARGA APLICADA (CARGA)	TEMPERATURA (GRADOS CENTÍGRADOS)	TIEMPO DE PRENSADO (HORAS)
25KG/CM2	100°	2 HORAS
PESO SIN ESCUADRAR (PE)	PESO FINAL (PF)	ESPELOR FINAL (Ef)
3,55 KG	2,95 KG	4,496 CM

ALB 302 	COMBINACIÓN DE ESPECIES	NÚMERO DE CAPAS
		LAUREL - BALSA
MEDIDAS DE LA MUESTRA	TIPO DE PEGANTE APLICADO	
48 x 48 CM	ÚREA FORMALDEHIDO + COLA BLANCA	
ORIENTACIÓN DE LAS CAPAS	ESPELOR DE LAS CAPAS	PORCENTAJE DE HUMEDAD
2 PAR. 1 PER.	1,5 CM	10,50%
CANTIDAD DE PEGANTE APLICADO	ÁREA (CM2)	VOLUMEN (CM3)
277 G	2304 CM2	10243,58 CM3
CARGA APLICADA (CARGA)	TEMPERATURA (GRADOS CENTÍGRADOS)	TIEMPO DE PRENSADO (HORAS)
25KG/CM2	100°	2 HORAS
PESO SIN ESCUADRAR (PE)	PESO FINAL (PF)	ESPELOR FINAL (Ef)
3,75 KG	2,95 KG	4,446 CM

Fuente: Elaboración propia

Tabla 31. Panel Alex Laurel Balsa 3 capas

<p>ALB 303</p>  <p>Figura 114. ALB 303</p>	<p>COMBINACIÓN DE ESPECIES</p>	<p>NÚMERO DE CAPAS</p>
	<p>LAUREL - BALSA</p>	<p>3</p>
<p>MEDIDAS DE LA MUESTRA</p>	<p>48 x 48 CM</p>	<p>TIPO DE PEGANTE APLICADO</p>
		<p>ÚREA FORMALDEHIDO + COLA BLANCA</p>
<p>ORIENTACIÓN DE LAS CAPAS</p>	<p>ESPESOR DE LAS CAPAS</p>	<p>PORCENTAJE DE HUMEDAD</p>
<p>2 PAR. 1 PER.</p>	<p>1,5 CM</p>	<p>12,60%</p>
<p>CANTIDAD DE PEGANTE APLICADO</p>	<p>ÁREA (CM2)</p>	<p>VOLUMEN (CM3)</p>
<p>277 G</p>	<p>2304 CM2</p>	<p>10077,69 CM3</p>
<p>CARGA APLICADA (CARGA)</p>	<p>TEMPERATURA (GRADOS CENTÍGRADOS)</p>	<p>TIEMPO DE PRENSADO (HORAS)</p>
<p>25KG/CM2</p>	<p>100°</p>	<p>2 HORAS</p>
<p>PESO SIN ESCUADRAR (PE)</p>	<p>PESO FINAL (PF)</p>	<p>ESPESOR FINAL (Ef)</p>
<p>3,55 KG</p>	<p>2,75 KG</p>	<p>4,374 CM</p>

OBSERVACIONES	IMAGEN
<p>Las piezas de Laurel y Balsa sufren de un desface debido al movimiento que se realiza para trasladar la muestra a la prensa, por lo que al prensar las piezas dejan aperturas que exponen las capas interiores del panel.</p>	 <p>Figura 115. Observaciones ALB 3 capas</p>

Fuente: Elaboración propia

Tabla 32. Panel de Pedro Bambú Laurel 3 capas

PBL 301 	COMBINACIÓN DE ESPECIES	NÚMERO DE CAPAS
		BAMBÚ - LAUREL
MEDIDAS DE LA MUESTRA	TIPO DE PEGANTE APLICADO	
48 x 48 CM	ÚREA FORMALDEHIDO + COLA BLANCA	
ORIENTACIÓN DE LAS CAPAS	ESPELOR DE LAS CAPAS	PORCENTAJE DE HUMEDAD
2 PAR. 1 PER.	1,5 CM	11,50%
CANTIDAD DE PEGANTE APLICADO	ÁREA (CM2)	VOLUMEN (CM3)
277 G	2304 CM2	6985,72 CM3
CARGA APLICADA (CARGA)	TEMPERATURA (GRADOS CENTÍGRADOS)	TIEMPO DE PENSADO (HORAS)
80KG/CM2	100°	2 HORAS
PESO SIN ESCUADRAR (PE)	PESO FINAL (PF)	ESPELOR FINAL (EF)
4,90 KG	4,10 KG	3,032 CM

PBL 302 	COMBINACIÓN DE ESPECIES	NÚMERO DE CAPAS
		BAMBÚ - LAUREL
MEDIDAS DE LA MUESTRA	TIPO DE PEGANTE APLICADO	
48 x 48 CM	ÚREA FORMALDEHIDO + COLA BLANCA	
ORIENTACIÓN DE LAS CAPAS	ESPELOR DE LAS CAPAS	PORCENTAJE DE HUMEDAD
2 PAR. 1 PER.	1,5 CM	11,90%
CANTIDAD DE PEGANTE APLICADO	ÁREA (CM2)	VOLUMEN (CM3)
277 G	2304 CM2	7142,4 CM3
CARGA APLICADA (CARGA)	TEMPERATURA (GRADOS CENTÍGRADOS)	TIEMPO DE PENSADO (HORAS)
80KG/CM2	100°	2 HORAS
PESO SIN ESCUADRAR (PE)	PESO FINAL (PF)	ESPELOR FINAL (EF)
5,45 KG	4,50 KG	3,100 CM

Fuente: Elaboración propia

Tabla 33. Panel de Pedro Bambú Laurel 3 capas

PBL 303 	COMBINACIÓN DE ESPECIES	NÚMERO DE CAPAS
	BAMBÚ - LAUREL	3
Figura 118. PBL 303	MEDIDAS DE LA MUESTRA	TIPO DE PEGANTE APLICADO
	48 x 48 CM	ÚREA FORMALDEHIDO + COLA BLANCA
ORIENTACIÓN DE LAS CAPAS	ESPESOR DE LAS CAPAS	PORCENTAJE DE HUMEDAD
2 PAR. 1 PER.	1,5 CM	11,90%
CANTIDAD DE PEGANTE APLICADO	ÁREA (CM2)	VOLUMEN (CM3)
277 G	2304 CM2	6946,56 CM3
CARGA APLICADA (CARGA)	TEMPERATURA (GRADOS CENTÍGRADOS)	TIEMPO DE PRENSADO (HORAS)
80KG/CM2	100°	2 HORAS
PESO SIN ESCUADRAR (PE)	PESO FINAL (PF)	ESPESOR FINAL (Ef)
5,05 KG	4,20 KG	3,015 CM

OBSERVACIONES	IMAGEN
<p>Las piezas de Bambú y Laurel sufren de un desface debido al movimiento que se realiza para trasladar la muestra a la prensa, por lo que al prensar las piezas dejan aperturas que exponen las capas interiores del panel.</p>	

Figura 119. Observaciones PBL 3 capas

Fuente: Elaboración propia

Tabla 34. Panel de Daniel Bambú Balsa 3 capas


DBB 301 	COMBINACIÓN DE ESPECIES	NÚMERO DE CAPAS
		BAMBÚ - Balsa
MEDIDAS DE LA MUESTRA	TIPO DE PEGANTE APLICADO	
48 x 48 cm	ÚREA FORMALDEHIDO + COLA BLANCA	
ORIENTACIÓN DE LAS CAPAS	ESPESOR DE LAS CAPAS	PORCENTAJE DE HUMEDAD
2 PAR. 1 PER.	1,5 cm	11,80%
CANTIDAD DE PEGANTE APLICADO	ÁREA (CM2)	VOLUMEN (CM3)
277 g	2304 cm2	7372,8 cm3
CARGA APLICADA (CARGA)	TEMPERATURA (GRADOS CENTÍGRADOS)	TIEMPO DE PENSADO (HORAS)
80KG/CM2	100 °	2 HORAS
PESO SIN ESCUADRAR (PE)	PESO FINAL (PF)	ESPESOR FINAL (Ef)
4,25 kg	3,55 kg	3,200 cm

DBB 302 	COMBINACIÓN DE ESPECIES	NÚMERO DE CAPAS
		BAMBÚ - Balsa
MEDIDAS DE LA MUESTRA	TIPO DE PEGANTE APLICADO	
48 x 48 cm	ÚREA FORMALDEHIDO + COLA BLANCA	
ORIENTACIÓN DE LAS CAPAS	ESPESOR DE LAS CAPAS	PORCENTAJE DE HUMEDAD
2 PAR. 1 PER.	1,5 cm	12,75%
CANTIDAD DE PEGANTE APLICADO	ÁREA (CM2)	VOLUMEN (CM3)
277 g	2304 cm2	7252,99 cm3
CARGA APLICADA (CARGA)	TEMPERATURA (GRADOS CENTÍGRADOS)	TIEMPO DE PENSADO (HORAS)
80KG/CM2	100 °	2 HORAS
PESO SIN ESCUADRAR (PE)	PESO FINAL (PF)	ESPESOR FINAL (Ef)
3,80 kg	3,20 kg	3,148 cm

Fuente: Elaboración propia

Tabla 35. Panel de Daniel Bambú Balsa 3 capas

<p>DBB 303</p>  <p>Figura 122. DBB 303</p>	<p>COMBINACIÓN DE ESPECIES</p>	<p>NÚMERO DE CAPAS</p>
	<p>BAMBÚ - Balsa</p>	<p>3</p>
	<p>MEDIDAS DE LA MUESTRA</p>	<p>TIPO DE PEGANTE APLICADO</p>
<p>48 x 48 cm</p>	<p>ÚREA FORMALDEHIDO + COLA BLANCA</p>	<p>PORCENTAJE DE HUMEDAD</p>
<p>ORIENTACIÓN DE LAS CAPAS</p>	<p>ESPESOR DE LAS CAPAS</p>	<p>ESPESOR DE LAS CAPAS</p>
<p>2 PAR. 1 PER.</p>	<p>1,5 cm</p>	<p>14,00%</p>
<p>CANTIDAD DE PEGANTE APLICADO</p>	<p>ÁREA (CM2)</p>	<p>VOLUMEN (CM3)</p>
<p>277 g</p>	<p>2304 cm2</p>	<p>6935,04 cm3</p>
<p>CARGA APLICADA (CARGA)</p>	<p>TEMPERATURA (GRADOS CENTÍGRADOS)</p>	<p>TIEMPO DE PENSADO (HORAS)</p>
<p>80kg/cm2</p>	<p>100 °</p>	<p>2 HORAS</p>
<p>PESO SIN ESCUADRAR (PE)</p>	<p>PESO FINAL (PF)</p>	<p>ESPESOR FINAL (Ef)</p>
<p>3,80 kg</p>	<p>3,15 kg</p>	<p>3,010 cm</p>

OBSERVACIONES	IMAGEN
<p>Las piezas de Bambú y de Balsa sufren de un desface debido al movimiento que se realiza para trasladar la muestra a la prensa, por lo que al prensar las piezas dejan aperturas que exponen las capas interiores del panel.</p>	 <p>Figura 123. Observaciones DBB 3 capas</p>

Fuente: Elaboración propia

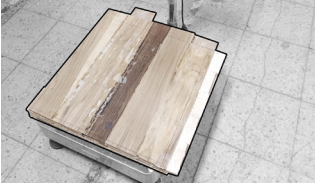
Tabla 36. Panel de Alex Laurel Balsa 5 capas


ALB 501		COMBINACIÓN DE ESPECIES	NÚMERO DE CAPAS
 <p>Figura 124. ALB 501</p>	MEDIDAS DE LA MUESTRA	TIPO DE PEGANTE APLICADO	
	48 x 48 CM	ÚREA FORMALDEHIDO + COLA BLANCA	
ORIENTACIÓN DE LAS CAPAS	ESPESOR DE LAS CAPAS	PORCENTAJE DE HUMEDAD	
3 PAR. 2 PER.	1 CM	8,36%	
CANTIDAD DE PEGANTE APLICADO	ÁREA (CM2)	VOLUMEN (CM3)	
355 G	2304 CM2	10271,23 CM3	
CARGA APLICADA (CARGA)	TEMPERATURA (GRADOS CENTÍGRADOS)	TIEMPO DE PENSADO (HORAS)	
15KG/CM2	100°	2 HORAS	
PESO SIN ESCUADRAR (PE)	PESO FINAL (PF)	ESPESOR FINAL (Ef)	
3,90 KG	3,05 KG	4,458 CM	

ALB 502		COMBINACIÓN DE ESPECIES	NÚMERO DE CAPAS
 <p>Figura 125. ALB 502</p>	MEDIDAS DE LA MUESTRA	TIPO DE PEGANTE APLICADO	
	48 x 48 CM	ÚREA FORMALDEHIDO + COLA BLANCA	
ORIENTACIÓN DE LAS CAPAS	ESPESOR DE LAS CAPAS	PORCENTAJE DE HUMEDAD	
3 PAR. 2 PER.	1 CM	7,44%	
CANTIDAD DE PEGANTE APLICADO	ÁREA (CM2)	VOLUMEN (CM3)	
355 G	2304 CM2	10328,83 CM3	
CARGA APLICADA (CARGA)	TEMPERATURA (GRADOS CENTÍGRADOS)	TIEMPO DE PENSADO (HORAS)	
15KG/CM2	100°	2 HORAS	
PESO SIN ESCUADRAR (PE)	PESO FINAL (PF)	ESPESOR FINAL (Ef)	
3,95 KG	3,10 KG	4,483 CM	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 37. Panel de Alex Laurel Balsa 5 capas

<p>ALB 503</p>  <p>Figura 126. ALB 503</p>	<p>COMBINACIÓN DE ESPECIES</p>	<p>NÚMERO DE CAPAS</p>
	<p>LAUREL - Balsa</p>	<p>5</p>
<p>MEDIDAS DE LA MUESTRA</p>	<p>48 x 48 cm</p>	<p>TIPO DE PEGANTE APLICADO</p>
		<p>ÚREA FORMALDEHIDO + COLA BLANCA</p>
<p>ORIENTACIÓN DE LAS CAPAS</p>	<p>ESPESOR DE LAS CAPAS</p>	<p>PORCENTAJE DE HUMEDAD</p>
<p>3 PAR. 2 PER.</p>	<p>1 cm</p>	<p>7.44%</p>
<p>CANTIDAD DE PEGANTE APLICADO</p>	<p>ÁREA (CM2)</p>	<p>VOLUMEN (CM3)</p>
<p>355 g</p>	<p>2304 cm2</p>	<p>10324,22 cm3</p>
<p>CARGA APLICADA (CARGA)</p>	<p>TEMPERATURA (GRADOS CENTÍGRADOS)</p>	<p>TIEMPO DE PRENSADO (HORAS)</p>
<p>15kg/cm2</p>	<p>100°</p>	<p>2 HORAS</p>
<p>PESO SIN ESCUADRAR (PE)</p>	<p>PESO FINAL (PF)</p>	<p>ESPESOR FINAL (Ef)</p>
<p>3,85 kg</p>	<p>3,20 kg</p>	<p>4,481 cm</p>

OBSERVACIONES	IMAGEN
<p>Para evitar el desface de las tiras de madera de Laurel y Balsa se optó por pegar previamente cada capa, para ello se aplica cola blanca entre las uniones de las tiras y se deja secar.</p>	 <p>Figura 127. Observaciones ALB 5 capas</p>

Fuente: Elaboración propia

Tabla 38. Panel de Pedro Bambú Laurel 5 capas


PBL 501  Figura 128. PBL 501	COMBINACIÓN DE ESPECIES	NÚMERO DE CAPAS
	BAMBÚ - LAUREL	5
	MEDIDAS DE LA MUESTRA	TIPO DE PEGANTE APLICADO
48 x 48 CM	ÚREA FORMALDEHIDO + COLA BLANCA	
ORIENTACIÓN DE LAS CAPAS	ESPESOR DE LAS CAPAS	PORCENTAJE DE HUMEDAD
3 PAR. 2 PER.	1 CM	14,18%
CANTIDAD DE PEGANTE APLICADO	ÁREA (CM2)	VOLUMEN (CM3)
355 G	2304 CM2	9750,52 CM3
CARGA APLICADA (CARGA)	TEMPERATURA (GRADOS CENTÍGRADOS)	TIEMPO DE PRENSADO (HORAS)
35KG/CM2	100°	2 HORAS
PESO SIN ESCUADRAR (PE)	PESO FINAL (PF)	ESPESOR FINAL (EF)
6,65 KG	5,40 KG	4,232 CM

PBL 502  Figura 129. PBL 502	COMBINACIÓN DE ESPECIES	NÚMERO DE CAPAS
	BAMBÚ - LAUREL	5
	MEDIDAS DE LA MUESTRA	TIPO DE PEGANTE APLICADO
48 x 48 CM	ÚREA FORMALDEHIDO + COLA BLANCA	
ORIENTACIÓN DE LAS CAPAS	ESPESOR DE LAS CAPAS	PORCENTAJE DE HUMEDAD
3 PAR. 2 PER.	1 CM	10,60%
CANTIDAD DE PEGANTE APLICADO	ÁREA (CM2)	VOLUMEN (CM3)
355 G	2304 CM2	10273,53 CM3
CARGA APLICADA (CARGA)	TEMPERATURA (GRADOS CENTÍGRADOS)	TIEMPO DE PRENSADO (HORAS)
35KG/CM2	100°	2 HORAS
PESO SIN ESCUADRAR (PE)	PESO FINAL (PF)	ESPESOR FINAL (EF)
7,15 KG	6,15 KG	4,459 CM

Fuente: Elaboración propia

Tabla 39. Panel de Pedro Bambú Laurel 5 capas

PBL 503 	COMBINACIÓN DE ESPECIES	NÚMERO DE CAPAS
	BAMBÚ - LAUREL	5
Figura 130. PBL 503	MEDIDAS DE LA MUESTRA	TIPO DE PEGANTE APLICADO
	48 x 48 CM	ÚREA FORMALDEHIDO + COLA BLANCA
ORIENTACIÓN DE LAS CAPAS	ESPESOR DE LAS CAPAS	PORCENTAJE DE HUMEDAD
3 PAR. 2 PER.	1 CM	10,30%
CANTIDAD DE PEGANTE APLICADO	ÁREA (CM2)	VOLUMEN (CM3)
355 G	2304 CM2	9884,16 CM3
CARGA APLICADA (CARGA)	TEMPERATURA (GRADOS CENTÍGRADOS)	TIEMPO DE PRENSADO (HORAS)
35KG/CM2	100°	2 HORAS
PESO SIN ESCUADRAR (PE)	PESO FINAL (PF)	ESPESOR FINAL (Ef)
6,85 KG	5,75 KG	4,290 CM

OBSERVACIONES	IMAGEN
<p>Para evitar el desface de las tiras de madera de Bambú y Laurel se opta por pegar previamente cada capa, para ello se aplica cola blanca entre las uniones de las tiras y se deja secar.</p>	 <p>Figura 131. Observaciones PBL 5 capas</p>

Fuente: Elaboración propia

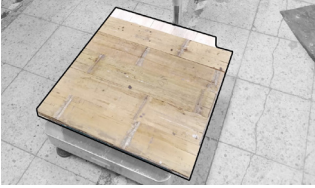
Tabla 40. Panel de Daniel Bambú Balsa 5 capas


DBB 501 	COMBINACIÓN DE ESPECIES	NÚMERO DE CAPAS
		BAMBÚ - Balsa
MEDIDAS DE LA MUESTRA	TIPO DE PEGANTE APLICADO	
48 x 48 cm	ÚREA FORMALDEHIDO + COLA BLANCA	
ORIENTACIÓN DE LAS CAPAS	ESPESOR DE LAS CAPAS	PORCENTAJE DE HUMEDAD
3 PAR. 2 PER.	1 cm	8,24%
CANTIDAD DE PEGANTE APLICADO	ÁREA (CM2)	VOLUMEN (CM3)
355 g	2304 cm2	10531,58 cm3
CARGA APLICADA (CARGA)	TEMPERATURA (GRADOS CENTÍGRADOS)	TIEMPO DE PENSADO (HORAS)
10KG/CM2	100 °	2 HORAS
PESO SIN ESCUADRAR (PE)	PESO FINAL (PF)	ESPESOR FINAL (Ef)
6,75 kg	5,75 kg	4,571 cm

DBB 502 	COMBINACIÓN DE ESPECIES	NÚMERO DE CAPAS
		BAMBÚ - Balsa
MEDIDAS DE LA MUESTRA	TIPO DE PEGANTE APLICADO	
48 x 48 cm	ÚREA FORMALDEHIDO + COLA BLANCA	
ORIENTACIÓN DE LAS CAPAS	ESPESOR DE LAS CAPAS	PORCENTAJE DE HUMEDAD
3 PAR. 2 PER.	1 cm	9,76%
CANTIDAD DE PEGANTE APLICADO	ÁREA (CM2)	VOLUMEN (CM3)
355 g	2304 cm2	9,907cm3
CARGA APLICADA (CARGA)	TEMPERATURA (GRADOS CENTÍGRADOS)	TIEMPO DE PENSADO (HORAS)
10KG/CM2	100 °	2 HORAS
PESO SIN ESCUADRAR (PE)	PESO FINAL (PF)	ESPESOR FINAL (Ef)
5,80 kg	5,05 kg	4,320 cm

Fuente: Elaboración propia

Tabla 41. Panel de Daniel Bambú Balsa 5 capas

DBB 503	COMBINACIÓN DE ESPECIES	NÚMERO DE CAPAS
 Figura 134. DBB 503	BAMBÚ - Balsa	5
	MEDIDAS DE LA MUESTRA	TIPO DE PEGANTE APLICADO
48 x 48 CM	ÚREA FORMALDEHIDO + COLA BLANCA	
ORIENTACIÓN DE LAS CAPAS	ESPESOR DE LAS CAPAS	PORCENTAJE DE HUMEDAD
3 PAR. 2 PER.	1 CM	10,22%
CANTIDAD DE PEGANTE APLICADO	ÁREA (CM2)	VOLUMEN (CM3)
355 G	2304 CM2	9372,67 CM3
CARGA APLICADA (CARGA)	TEMPERATURA (GRADOS CENTÍGRADOS)	TIEMPO DE PENSADO (HORAS)
10KG/CM2	100 °	2 HORAS
PESO SIN ESCUADRAR (PE)	PESO FINAL (PF)	ESPESOR FINAL (Ef)
5,15 KG	4,40 KG	4,068 CM

OBSERVACIONES	IMAGEN
<p>Para evitar el desface de las tiras de madera de Bambú y Balsa se opta por pegar previamente cada capa, para ello se aplica cola blanca entre las uniones de las tiras y se deja secar.</p>	 Figura 135. Observaciones DBB 5 capas

Fuente: Elaboración propia

4.9. Resultados y resumen de ensayos

Los ensayos realizados fueron de compresión paralela al plano, compresión perpendicular al plano y flexión perpendicular al plano como dicta la norma UNE-EN 16351 para la evaluación de propiedades mecánicas en probetas de CLT.

Cada integrante realizó un total de 18 ensayos: 6 ensayos de compresión paralela, 6 ensayos de compresión perpendicular y 6 ensayos de flexión.

Las tablas a continuación especifican valores de carga y dimensiones por cada probeta de cada ensayo, y por cada integrante del equipo de trabajo.

Desde la tabla 42 hasta la tabla 47 se especifican los valores de todas las probetas de cada integrante para ensayos de compresión paralela; desde la tabla 48 a la tabla 53 todas las probetas de cada integrante para ensayos de compresión perpendicular y desde la tabla 54 a la tabla 59 todas las probetas de cada integrante para ensayos de flexión perpendicular. Previamente se resume el procedimiento de cada ensayo con su fórmula.

Posterior a todo el procedimiento de ensayos en los laboratorios respectivos, se procede a realizar un análisis de todas las probetas de cada ensayo por cada integrante.

Después se realiza una comparativa entre las probetas de cada integrante por cada ensayo para determinar cual combinación de especie resulta la más resistente.

Al final se comparan los valores obtenidos de cada ensayo por cada integrante, respecto a los valores característicos que recomienda la norma UNE-EN 16351, para determinar si se cumplen o no.

4.10. Ensayo de compresión paralela al plano

Los ensayos de compresión paralela al plano se llevaron a cabo con probetas de 40x 45 ± 5mm de sección transversal y de una longitud de 80mm. Donde se debe procurar las superficies de las probetas queden lisas y escuadradas, se debe colocar la probeta de forma que las capas exteriores estén alineadas paralelamente al plano de la carga aplicada.

Materiales y Equipos:

- Máquina de ensayos Celda de carga C47L4 “Controls” con cap.2000 kN
- Topes cilíndricos
- 18 probetas de CLT para ensayos a compresión paralela al plano
- Calibrador digital 500-505-10 “Mitutoyo”
- Flexómetro de 5m “Stanley Pro”

Procedimiento:

- Ubicar los topes cilíndricos
- Se coloca la probeta en el centro de los topes cilíndricos inferior y superior de forma que la carga sea uniforme.
- Encender la maquina
- La carga se ejecutará puntualmente de forma continua hasta que la probeta llegue a la rotura.
- Una vez alcance la carga máxima la maquina se detendrá, marcando la carga en la pantalla y se registrará el valor para realizar los cálculos.

Calculo:

La norma UNE-EN 16351 (Asociación Española de Normalización, 2021) establece la siguiente fórmula para el cálculo de ensayos de compresión paralelo al plano:

$$f_{c,0} = \frac{F_{\text{máx.}}}{A}$$


Donde:


$f_{c,0}$ = Resistencia de compresión


$F_{\text{máx}}$ = Fuerza máxima


A = Área de la sección transversal en mm²

Tabla 42. Probetas de compresión paralela (Alex Arias Laurel Balsa)

<p>ALB 501</p>  <p>Figura 136. ALB 501</p>	ALTURA (mm)	ANCHO (mm)	LARGO (mm)
	43,98	39,42	79,7
	ÁREA (mm ²)	PRESIÓN (N)	RESISTENCIA (N/mm ²)
	1733,7	45000	25,96


<p>ALB 502</p>  <p>Figura 137. ALB 502</p>	ALTURA (mm)	ANCHO (mm)	LARGO (mm)
	43,94	39,46	79,58
	ÁREA (mm ²)	PRESIÓN (N)	RESISTENCIA (N/mm ²)
	1733,9	43000	24,80


<p>ALB 503</p>  <p>Figura 138. ALB 503</p>	ALTURA (mm)	ANCHO (mm)	LARGO (mm)
	43,98	39,82	80,8
	ÁREA (mm ²)	PRESIÓN (N)	RESISTENCIA (N/mm ²)
	1751,3	38600	22,04


<p>ALB 504</p>  <p>Figura 139. ALB 504</p>	ALTURA (mm)	ANCHO (mm)	LARGO (mm)
	44,12	40	80,8
	ÁREA (mm ²)	PRESIÓN (N)	RESISTENCIA (N/mm ²)
	1764,8	40400	22,89

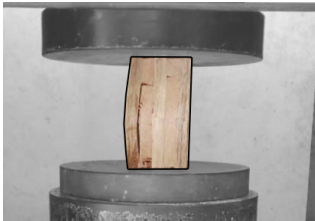
Fuente: Elaboración propia, figuras correspondientes a probetas ensayadas

Tabla 43. Probetas de compresión paralela (Alex Arias Laurel Balsa)

<p>ALB 505</p>  <p>Figura 140. ALB 505</p>	ALTURA (mm)	ANCHO (mm)	LARGO (mm)
	44	39,22	82,1
	ÁREA (mm ²)	PRESIÓN (N)	RESISTENCIA (N/mm ²)
	1725,7	32900	19,06

<p>ALB 506</p>  <p>Figura 141. ALB 506</p>	ALTURA (mm)	ANCHO (mm)	LARGO (mm)
	43,74	39,22	81,38
	ÁREA (mm ²)	PRESIÓN (N)	RESISTENCIA (N/mm ²)
	1715,5	36100	21,04

<p>PROMEDIO</p>  <p>Figura 142. Promedio</p>	ALTURA (mm)	ANCHO (mm)	LARGO (mm)
	43,96	39,52	80,73
	ÁREA (mm ²)	PRESIÓN (N)	RESISTENCIA (N/mm ²)
	1737,47	39333	22,63

OBSERVACIONES	IMAGEN
<p>La falla más común es la falla por cizallamiento, presentando grietas y roturas diagonales en las capas, observándose un desprendimiento fibras .</p>	 <p>Figura 143. Observaciones</p>

Fuente: Elaboración propia, figuras correspondientes a probetas ensayadas

4.10.1. Resultados ALB (Alex/Laurel/Balsa) Compresión paralela

La cantidad de probetas ensayadas fueron un total de 6. En la tabla 44 se muestran los resultados de resistencia a compresión paralela de las probetas ALB con su valor promedio, donde la probeta ALB 501 obtuvo la mayor resistencia con un valor de 25.96N/mm² y a través de los valores extraídos de los ensayos se determinó un valor promedio de 22.63N/mm².

En el cual, la probeta ALB 505 no alcanzó acercarse al valor promedio con una resistencia de 19.09N/mm², a pesar de los diversos resultados se logra cumplir con valores establecidos por la normativa UNE-EN 16351. La falla más común en las probetas de Laurel/Balsa (*Cordia Alliodora/Ochroma Pyramidale*), fue la falla por cizallamiento la cual surge cuando se aplica una carga y esta llega su cortante máximo con un ángulo de 45°, presentando grietas diagonales en las capas externas e internas cercanas a la base de la probeta donde se ejerció una carga axial.

Generalmente las fallas por cortante se suele dar por los defectos internos que pueden haber presentado el espécimen naturalmente antes de los ensayos. Ambas capas fueron afectadas por falla cortante donde hubo un desprendimiento mínimo entre las capas, la capa más afectada fueron las capas de Laurel que presentó roturas en sus fibras, ya que soportan el esfuerzo aplicado por la prensa, mientras que las capas de Balsa responden mejor a esfuerzos por la disposición de las fibras.

En la tabla 44 se muestran los resultados de desviaciones de cada probeta y la desviación estándar. El valor de desviaciones es obtenido a través del promedio de resistencia N/mm² menos el valor obtenido de cada probeta. Y en donde se pudo determinar el valor de desviación estándar para medir la dispersión de los datos obtenidos.

Dando como resultado que las desviaciones en los ensayos realizados sean variadas obteniendo valores dispersos positivos y negativos, obteniendo una desviación estándar de 2,51. Esto es causado por los defectos naturales presentes en las maderas utilizadas que al ser residuos pueden presentar fallas internas no visibles.

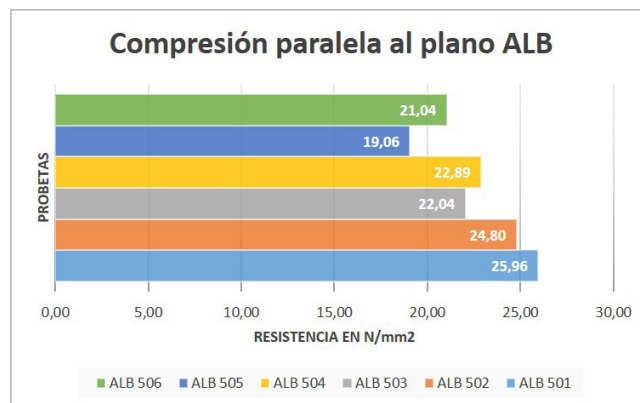
Tabla 44. Resultados ALB (Alex/Laurel/Balsa) compresión paralela

CÓDIGO	RESISTENCIA (N/MM2)	DESVIACIÓN
ALB 501	25,96	3,32
ALB 502	24,80	2,17
ALB 503	22,04	-0,59
ALB 504	22,89	0,26
ALB 505	19,06	-3,57
ALB 506	21,04	-1,59
PROMEDIO	22,63	2,51

ALB: ALEX/LAUREL/BALSA

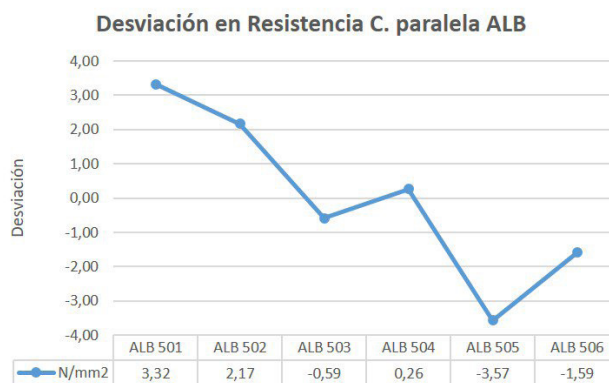
Fuente: Elaboración propia

Figura 144. Resultados ensayos ALB compresión paralela




Fuente: Elaboración propia


Figura 145. Desviación resistencia ALB compresión paralela





Fuente: Elaboración propia

Tabla 45. Probetas de compresión paralela (Pedro Mantilla Laurel Balsa)

<u>PBL 501</u> 	ALTURA (mm)	ANCHO (mm)	LARGO (mm)
		45	39,62
	ÁREA (mm ²)	PRESIÓN (N)	RESISTENCIA (N/mm ²)
Figura 146. PBL 501	1782,9	52300	29,33


<u>PBL 502</u> 	ALTURA (mm)	ANCHO (mm)	LARGO (mm)
		44,52	40
	ÁREA (mm ²)	PRESIÓN (N)	RESISTENCIA (N/mm ²)
Figura 147. PBL 502	1780,8	53500	30,04


<u>PBL 503</u> 	ALTURA (mm)	ANCHO (mm)	LARGO (mm)
		44,52	39,82
	ÁREA (mm ²)	PRESIÓN (N)	RESISTENCIA (N/mm ²)
Figura 148. PBL 503	1772,8	52100	29,39


<u>PBL 504</u> 	ALTURA (mm)	ANCHO (mm)	LARGO (mm)
		44,5	40
	ÁREA (mm ²)	PRESIÓN (N)	RESISTENCIA (N/mm ²)
Figura 149. PBL 504	1780,0	55400	31,12


Fuente: Elaboración propia, figuras correspondientes a probetas ensayadas

Tabla 46. Probetas de compresión paralela (Pedro Mantilla Laurel Balsa)

PBL 505 	ALTURA (mm)	ANCHO (mm)	LARGO (mm)
		44,9	39,9
	ÁREA (mm ²)	PRESIÓN (N)	RESISTENCIA (N/mm ²)
Figura 150. PBL 505	1791,5	58600	32,71

PBL 506 	ALTURA (mm)	ANCHO (mm)	LARGO (mm)
		45	40
	ÁREA (mm ²)	PRESIÓN (N)	RESISTENCIA (N/mm ²)
Figura 151. PBL 506	1800,0	59000	32,78

PROMEDIO 	ALTURA (mm)	ANCHO (mm)	LARGO (mm)
		44,74	39,89
	ÁREA (mm ²)	PRESIÓN (N)	RESISTENCIA (N/mm ²)
Figura 152. Promedio	1784,67	55150	30,90

OBSERVACIONES	IMAGEN
La falla más común fue la falla en la línea de pegado. Debido a la composición de las muestras y defectos naturales de las maderas.	 Figura 153. Observaciones

Fuente: Elaboración propia, figuras correspondientes a probetas ensayadas

4.10.2. Resultados PBL (Pedro/Bambú/Laurel) Compresión paralela

La cantidad de probetas ensayadas fueron un total de 6. En la tabla 47 se muestran los resultados de resistencia a compresión paralela al plano de las probetas PBL con su valor promedio, donde la probeta PBL 506 obtuvo la mayor resistencia con un valor de 32,78 N/mm² y a través de los valores extraídos de los ensayos se determinó un valor promedio de 30,90 N/mm². Donde todas las probetas lograron tener un valor superior al valor promedio, de esta forma se logra cumplir con valores establecidos por la normativa UNE-EN 16351 de 21,00 N/mm².

La falla más común en las probetas de Bambú/Laurel (*Guadua Angustifolia* Kunth/ *Cordia Alliodora*) es por división, donde falla la unión del adhesivo entre las maderas, esto es causado por la disposición de la capa intermedia de la muestra. Donde el bambú fue alternado entre las caras de las fibras (interior) y las de sílice (exterior) una capa no porosa.

Obteniendo un resultado variable dependiendo de los cortes realizados para la elaboración de las probetas de compresión paralela. Dando como resultado que las fibras paralelas del Bambú soporten los esfuerzos de la carga, presentando pequeñas deformaciones por compresión y donde el Laurel no se vio afectado por las cargas aplicadas.

En la tabla 47 se muestran los resultados de desviaciones de cada probeta y la desviación estándar. El valor de desviaciones es obtenido a través del promedio de resistencia N/mm² menos el valor obtenido de cada probeta. Y en donde se pudo determinar el valor de desviación estándar para medir la dispersión de los datos obtenidos.

Dando como resultado que las desviaciones en los ensayos realizados sean variadas, con valores dispersos positivos y negativos, obteniendo como resultado una desviación estándar de 1,57. Esto es causado por la falla por división entre las capas que ocurre por la disposición de las capas de la probeta y posiblemente porque el pegante llegó al fallo, ya sea por una mala adherencia entre las capas por la porosidad o por la presión ejercida por la prensa.

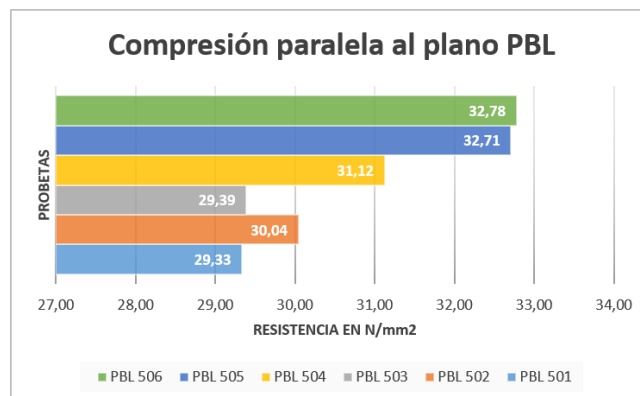
Tabla 47. Resultados PBL (Pedro/Bambú/Laurel) compresión paralela

CÓDIGO	RESISTENCIA (N/MM2)	DESVIACIÓN
PBL 501	29,33	-1,56
PBL 502	30,04	-0,85
PBL 503	29,39	-1,51
PBL 504	31,12	0,23
PBL 505	32,71	1,81
PBL 506	32,78	1,88
PROMEDIO	30,90	1,57

PBL: PEDRO/BAMBÚ/LAUREL

Fuente: Elaboración propia

Figura 154. Resultados ensayos PBL compresión paralela




Fuente: Elaboración propia


Figura 155. Desviación resistencia PBL compresión paralela





Fuente: Elaboración propia

Tabla 48. Probetas de compresión paralela (Daniel Veintimilla Laurel Balsa)

DBB 501 	ALTURA (mm)	ANCHO (mm)	LARGO (mm)
		39	39,5
	ÁREA (mm ²)	PRESIÓN (N)	RESISTENCIA (N/mm ²)
Figura 156. DBB 501	1540,5	46600	30,25


DBB 502 	ALTURA (mm)	ANCHO (mm)	LARGO (mm)
		39,44	39,62
	ÁREA (mm ²)	PRESIÓN (N)	RESISTENCIA (N/mm ²)
Figura 157. DBB 502	1562,6	52100	33,34


DBB 503 	ALTURA (mm)	ANCHO (mm)	LARGO (mm)
		42,76	40
	ÁREA (mm ²)	PRESIÓN (N)	RESISTENCIA (N/mm ²)
Figura 158. DBB 503	1710,4	50200	29,35


DBB 504 	ALTURA (mm)	ANCHO (mm)	LARGO (mm)
		43,54	38,84
	ÁREA (mm ²)	PRESIÓN (N)	RESISTENCIA (N/mm ²)
Figura 159. DBB 504	1691,1	52400	30,99

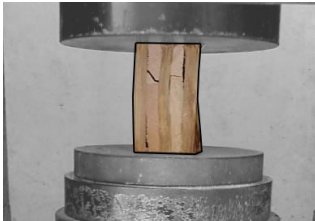
Fuente: Elaboración propia, figuras correspondientes a probetas ensayadas

Tabla 49. Probetas de compresión paralela (Daniel Veintimilla Laurel Balsa)

DBB 505 	ALTURA (mm)	ANCHO (mm)	LARGO (mm)
		42,5	40
	ÁREA (mm ²)	PRESIÓN (N)	RESISTENCIA (N/mm ²)
Figura 160. DBB 505	1700,0	54600	31,12

DBB 506 	ALTURA (mm)	ANCHO (mm)	LARGO (mm)
		42,8	39,1
	ÁREA (mm ²)	PRESIÓN (N)	RESISTENCIA (N/mm ²)
Figura 161. DBB 506	1673,5	53600	32,03

PROMEDIO 	ALTURA (mm)	ANCHO (mm)	LARGO (mm)
		41,67	39,51
	ÁREA (mm ²)	PRESIÓN (N)	RESISTENCIA (N/mm ²)
Figura 162. Promedio	1646,35	51583	31,35

OBSERVACIONES	IMAGEN
Las fallas más comunes fueron en la línea de pegado y por cizallamiento. Debido a la composición de las muestras y los defectos naturales.	 Figura 163. Observaciones

Fuente: Elaboración propia, figuras correspondientes a probetas ensayadas

4.10.3. Resultados DBB (Daniel/Bambú/Balsa) compresión paralela

La cantidad de probetas ensayadas fueron un total de 6. En la tabla 50 se muestran los resultados de resistencia a compresión paralela al plano de las probetas DBB con su valor promedio, donde la probeta DBB 502 obtuvo la mayor resistencia con un valor de 33,34 N/mm² y a través de los valores extraídos de los ensayos se determinó un valor promedio de 31,35 N/mm². Donde todas las probetas lograron tener un valor superior al valor promedio, de esta forma se logra cumplir con valores establecidos por la normativa UNE-EN 16351 de 21,00 N/mm².

La falla más presente en las probetas de Bambú/Balsa (*Guadua Angustifolia* Kunth/*Ochroma Pyramidale*), fue la falla por cizallamiento. Donde la Balsa se desmenuza contra la carga axial, causando que sus fibras presenten una rotura cortante, que se puede apreciar por las grietas a 45° mientras que el bambú una ligera deformación en sus capas o presenta desprendimiento de las capas de Bambú por división.

Al fallar las capas transversales de la Balsa se genera una falla en la línea de pegado y en algunos ensayos el desprendimiento total entre las capas de Bambú y Balsa. Esto es causado por los altos esfuerzos generados por la presión ejercida por la prensa, que no pudo soportar la Balsa al ser una madera blanda de baja densidad, donde sus características mecánicas son inferiores a las del Bambú.

En la tabla 50 se muestran los resultados de desviaciones de cada probeta y la desviación estándar. El valor de desviaciones es obtenido a través del promedio de resistencia N/mm² menos el valor obtenido de cada probeta. Y en donde se pudo determinar el valor de desviación estándar para medir la dispersión de los datos obtenidos.

Dando como resultado que las desviaciones en los ensayos realizados sean variadas, con valores dispersos positivos y negativos, obteniendo como resultado una desviación estándar de 1,44. Esto es causado por el cizallamiento presente en los ensayos, generando fallas en línea de pegado que ocasiona una división de capas.

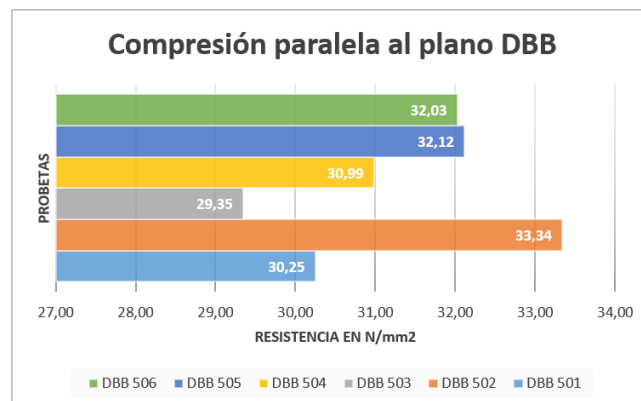
Tabla 50. Resultados DBB (Daniel/Bambú/Balsa) compresión paralela

CÓDIGO	RESISTENCIA (N/MM2)	DESVIACIÓN
DBB 501	30,25	-1,10
DBB 502	33,34	2,00
DBB 503	29,35	-2,00
DBB 504	30,99	-0,36
DBB 505	32,12	0,77
DBB 506	32,03	0,68
PROMEDIO	31,35	1,44

DBB: DANIEL/BAMBÚ/BALSA

Fuente: Elaboración propia

Figura 164. Resultados ensayos DBB compresión paralela



Fuente: Elaboración propia

Figura 165. Desviación resistencia DBB compresión paralela



Fuente: Elaboración propia

4.11. Ensayo de compresión perpendicular al plano

Los ensayos de compresión perpendicular al plano se llevaron a cabo con probetas de 40x 45±5mm de sección transversal y de una longitud de 80mm. Donde se debe procurar las superficies de las probetas queden lisas y escuadradas, se debe colocar la probeta de forma que las capas exteriores estén alineadas perpendicularmente al plano de la carga aplicada.

Materiales y Equipos

- Máquina de ensayos Celda de carga C47L4 “Controls” con cap.2000 kN
- Topes cilíndricos
- 18 probetas de CLT para ensayos a compresión perpendicular al plano
- Calibrador digital 500-505-10 “Mitutoyo”
- Flexómetro de 5m “Stanley Pro”

Procedimiento

- Ubicar los topes cilíndricos
- Se coloca la probeta en el centro de los topes cilíndricos inferior y superior de forma que la carga sea uniforme.
- Encender la maquina
- La carga se ejecutará puntualmente de forma continua hasta que la probeta llegue a la rotura.
- Una vez alcance la carga máxima la maquina se detendrá, marcando la carga en la pantalla y se registrará el valor para realizar los cálculos.
- Calculo

La norma UNE-EN 16351 (Asociación Española de Normalización, 2021). establece la siguiente fórmula para el cálculo de ensayos de compresión paralelo al plano:

$$f_{c,90} = \frac{F_{c,90,máx.}}{bl}$$


Donde:


$f_{c,0}$ = Resistencia de compresión


$F_{máx}$ = Fuerza máxima


A = Área de la sección transversal en mm²

Tabla 51. Probetas de compresión perpendicular (Alex Arias Laurel Balsa)

ALB 501 	ALTURA (mm)	ANCHO (mm)	LARGO (mm)
		44	41,18
	ÁREA (mm ²)	PRESIÓN (N)	RESISTENCIA (N/mm ²)
Figura 166. ALB 501	1811,9	8300	4,58


ALB 502 	ALTURA (mm)	ANCHO (mm)	LARGO (mm)
		43,94	41,4
	ÁREA (mm ²)	PRESIÓN (N)	RESISTENCIA (N/mm ²)
Figura 167. ALB 502	1819,1	8400	4,62


ALB 503 	ALTURA (mm)	ANCHO (mm)	LARGO (mm)
		43,74	41,78
	ÁREA (mm ²)	PRESIÓN (N)	RESISTENCIA (N/mm ²)
Figura 168. ALB 503	1827,5	9500	5,20


ALB 504 	ALTURA (mm)	ANCHO (mm)	LARGO (mm)
		43,94	41
	ÁREA (mm ²)	PRESIÓN (N)	RESISTENCIA (N/mm ²)
Figura 169. ALB 504	1801,5	8100	4,50

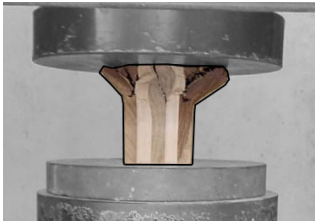
Fuente: Elaboración propia, figuras correspondientes a probetas ensayadas

Tabla 52. Probetas de compresión perpendicular (Alex Arias Laurel Balsa)

ALB 505 	ALTURA (mm)	ANCHO (mm)	LARGO (mm)
		44,12	40,1
	ÁREA (mm ²)	PRESIÓN (N)	RESISTENCIA (N/mm ²)
Figura 170. ALB 505	1769,2	9200	5,20

ALB 506 	ALTURA (mm)	ANCHO (mm)	LARGO (mm)
		44	40
	ÁREA (mm ²)	PRESIÓN (N)	RESISTENCIA (N/mm ²)
Figura 171. ALB 506	1760,0	9800	5,57

PROMEDIO 	ALTURA (mm)	ANCHO (mm)	LARGO (mm)
		43,96	40,91
	ÁREA (mm ²)	PRESIÓN (N)	RESISTENCIA (N/mm ²)
Figura 172. Promedio	1798,21	8883	4,94

OBSERVACIONES	IMAGEN
Las fallas más comunes fueron de cizallamiento, división y aplastamiento. Dado por las condiciones y disposiciones de las capas de maderas.	 Figura 173. Observaciones

Fuente: Elaboración propia, figuras correspondientes a probetas ensayadas

4.11.1. Resultados ALB (Alex/Laurel/Balsa) Compresión perpendicular

La cantidad de probetas ensayadas fueron un total de 6. En la tabla 53 se muestran los resultados de resistencia a compresión perpendicular al plano de las probetas ALB con su valor promedio, donde la probeta ALB 506 obtuvo la mayor resistencia con un valor de 5,57 N/mm² y mediante los valores extraídos de los ensayos se determinó un valor promedio de 4,94 N/mm². En el cual, todas las probetas lograron tener un valor superior al valor promedio, de esta forma se logra cumplir con valores establecidos por la normativa UNE-EN 16351 de 3,00 N/mm².

Las probetas de Laurel/Balsa (*Cordia Alliodora/Ochroma Pyramidale*), presentaron la falla por cizallamiento similar al ensayo de compresión paralela, presentando grietas diagonales en las capas externas e internas. La falla se pudo apreciar en el cuerpo de la probeta con un mayor grado de rotura, esto es causado por la disposición de las capas de Balsa dispuestas de forma paralela a la carga axial.

Llegando a presentar la falla del cortante tanto en la parte superior e inferior, ocurriendo una delaminación más continua en las capas de Balsa y Laurel con resultados de aplastamiento en algunas probetas. Ya que, las maderas tienden a resistir menos los esfuerzos de compresión perpendicular por la disposición de las fibras perpendicularmente.

En la tabla 53 se muestran los resultados de desviaciones de cada probeta y la desviación estándar. El valor de desviaciones es obtenido a través del promedio de resistencia N/mm² menos el valor obtenido de cada probeta. Y en donde se pudo determinar el valor de desviación estándar para medir la dispersión de los datos obtenidos.

Dando como resultado que las desviaciones en los ensayos realizados sean muy similares con poca diferencia, con valores positivos y negativos, obteniendo una desviación estándar de 0,44. Debido a la baja resistencias que presentan las maderas dispuestas de forma perpendicular en comparación a paralela.

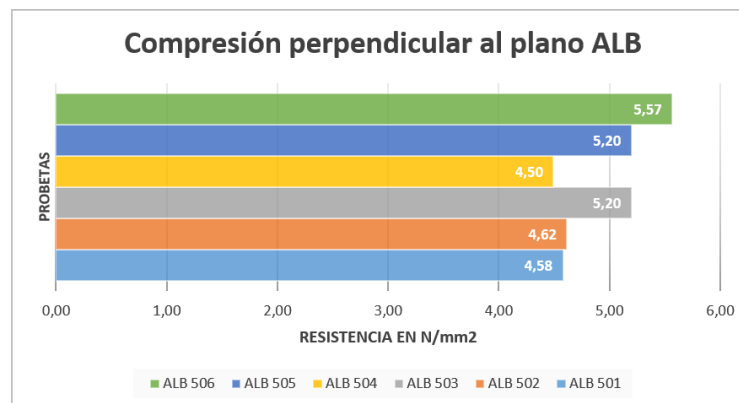
Tabla 53. Resultados ALB (Alex/Laurel/Balsa) compresión perpendicular

CÓDIGO	RESISTENCIA (N/MM2)	DESVIACIÓN
ALB 501	4,58	-0,36
ALB 502	4,62	-0,33
ALB 503	5,20	0,25
ALB 504	4,50	-0,45
ALB 505	5,20	0,26
ALB 506	5,57	0,62
PROMEDIO	4,94	0,44

ALB: ALEX/LAUREL/BALSA

Fuente: Elaboración propia

Figura 174. Resultados ensayos ALB compresión perpendicular




Fuente: Elaboración propia


Figura 175. Desviación resistencia ALB compresión perpendicular





Fuente: Elaboración propia

Tabla 54. Probetas de compresión perpendicular (Pedro Mantilla Laurel Balsa)

PBL 501 	ALTURA (mm)	ANCHO (mm)	LARGO (mm)
		44,32	42,36
	ÁREA (mm ²)	PRESIÓN (N)	RESISTENCIA (N/mm ²)
Figura 176. PBL 501	1877,4	28400	15,13


PBL 502 	ALTURA (mm)	ANCHO (mm)	LARGO (mm)
		44,6	40,6
	ÁREA (mm ²)	PRESIÓN (N)	RESISTENCIA (N/mm ²)
Figura 177. PBL 502	1810,8	27400	15,13


PBL 503 	ALTURA (mm)	ANCHO (mm)	LARGO (mm)
		44,3	41,5
	ÁREA (mm ²)	PRESIÓN (N)	RESISTENCIA (N/mm ²)
Figura 178. PBL 503	1838,5	23100	12,56


PBL 504 	ALTURA (mm)	ANCHO (mm)	LARGO (mm)
		44,9	40,4
	ÁREA (mm ²)	PRESIÓN (N)	RESISTENCIA (N/mm ²)
Figura 179. PBL 504	1814,0	20800	11,47


Fuente: Elaboración propia, figuras correspondientes a probetas ensayadas

Tabla 55. Probetas de compresión perpendicular (Pedro Mantilla Laurel Balsa)

<p>PBL 505</p>  <p>Figura 180. PBL 505</p>	ALTURA (mm)	ANCHO (mm)	LARGO (mm)
	44,92	40	80
	ÁREA (mm ²)	PRESIÓN (N)	RESISTENCIA (N/mm ²)
	1796,8	25700	14,30

<p>PBL 506</p>  <p>Figura 181. PBL 506</p>	ALTURA (mm)	ANCHO (mm)	LARGO (mm)
	44,92	38,1	79,42
	ÁREA (mm ²)	PRESIÓN (N)	RESISTENCIA (N/mm ²)
	1711,5	19800	11,57

<p>PROMEDIO</p>  <p>Figura 182. Promedio</p>	ALTURA (mm)	ANCHO (mm)	LARGO (mm)
	44,66	40,49	79,64
	ÁREA (mm ²)	PRESIÓN (N)	RESISTENCIA (N/mm ²)
	1808,14	24200	13,36

OBSERVACIONES	IMAGEN
<p>Las fallas más comunes fueron en la línea de pegado y por cizallamiento. Debido a la composición de las muestras y los defectos naturales.</p>	 <p>Figura 183. Observaciones</p>

Fuente: Elaboración propia, figuras correspondientes a probetas ensayadas

4.11.2. Resultados PBL (Pedro/Bambú/Laurel) compresión perpendicular

La cantidad de probetas ensayadas fueron un total de 6. En la tabla 56 se muestran los resultados de resistencia a compresión perpendicular al plano de las probetas PBL con su valor promedio, donde las probetas PBL 501 y 502 obtuvieron la mayor resistencia con un valor de 15,13 N/mm² y a través de los valores extraídos de los ensayos se determinó un valor promedio de 13,36 N/mm². Donde todas las probetas lograron tener un valor superior al valor promedio, de esta forma se logra cumplir con valores establecidos por la normativa UNE-EN 16351 de 3,00 N/mm².

Las probetas de Bambú/Laurel (*Guadua Angustifolia* Kunth/ *Cordia Alliodora*), presentaron principalmente la falla por cortante. Ya que las probetas se vieron afectadas por la disposición de sus fibras, donde las fibras de Bambú resisten menos si están perpendiculares a la carga por la disgregación que se producen en las fibras, causando una separación entre las fibras de forma que algunas capas se desprenden totalmente.

Mientras que el Laurel falla porque no es capaz de soportar la compresión ejercida, presentando roturas en las fibras. Donde se puede observar una delaminación en las capas de Laurel y falla en las líneas de pegado entre las capas.

En la tabla 56 se muestran los resultados de desviaciones de cada probeta y la desviación estándar. El valor de desviaciones es obtenido a través del promedio de resistencia N/mm² menos el valor obtenido de cada probeta. Y en donde se pudo determinar el valor de desviación estándar para medir la dispersión de los datos obtenidos.

Dando como resultado que las desviaciones en los ensayos realizados sean variadas, con valores dispersos positivos y negativos, obteniendo como resultado una desviación estándar de 1,71. Debido a la baja resistencias que presentan las maderas dispuestas de forma perpendicular en comparación a paralela.

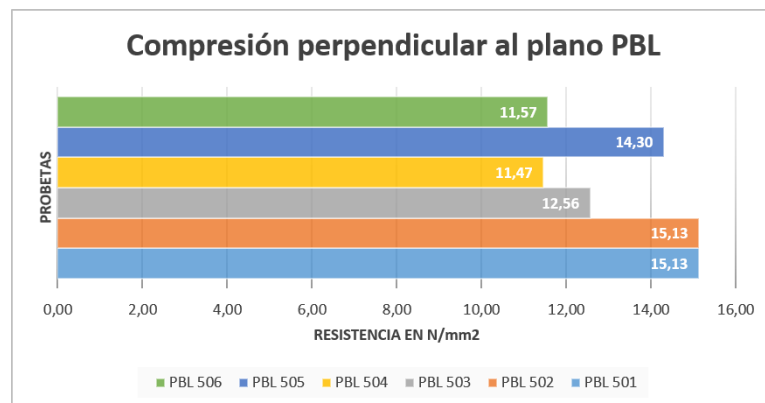
Tabla 56. Resultados PBL (Pedro/Bambú/Laurel) compresión perpendicular

CÓDIGO	RESISTENCIA (N/MM2)	DESVIACIÓN
PBL 501	15,13	1,77
PBL 502	15,13	1,77
PBL 503	12,56	-0,80
PBL 504	11,47	-1,89
PBL 505	14,30	0,94
PBL 506	11,57	-1,79
PROMEDIO	13,36	1,71

PBL: PEDRO/BAMBÚ/LAUREL

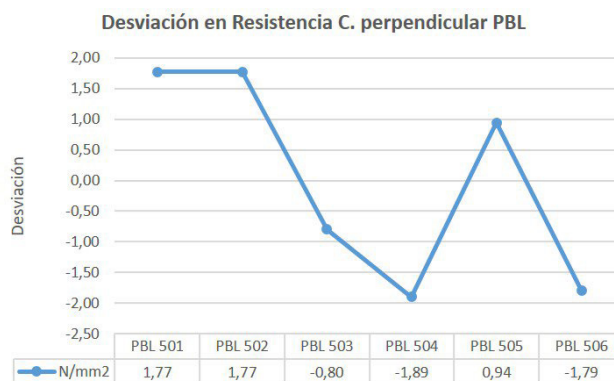
Fuente: Elaboración propia

Figura 184. Resultados ensayos PBL compresión perpendicular




Fuente: Elaboración propia

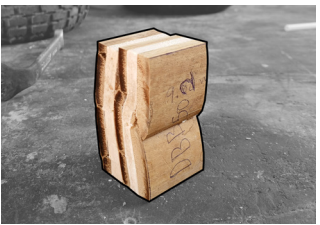
Figura 185. Desviación resistencia PBL compresión perpendicular




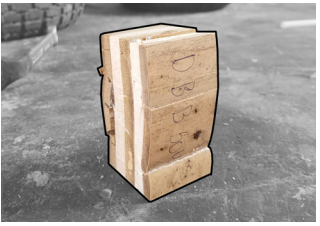
Fuente: Elaboración propia

Tabla 57. Probetas de compresión perpendicular (Daniel Veintimilla Laurel Balsa)

DBB 501 	ALTURA (mm)	ANCHO (mm)	LARGO (mm)
		41,6	40,1
	ÁREA (mm ²)	PRESIÓN (N)	RESISTENCIA (N/mm ²)
Figura 186. DBB 501	1668,2	8700	5,22

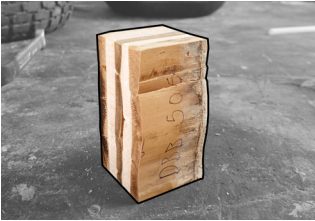
DBB 502 	ALTURA (mm)	ANCHO (mm)	LARGO (mm)
		40,82	40,44
	ÁREA (mm ²)	PRESIÓN (N)	RESISTENCIA (N/mm ²)
Figura 187. DBB 502	1650,8	7300	4,42


DBB 503 	ALTURA (mm)	ANCHO (mm)	LARGO (mm)
		41,3	39,7
	ÁREA (mm ²)	PRESIÓN (N)	RESISTENCIA (N/mm ²)
Figura 188. DBB 503	1639,6	6600	4,03


DBB 504 	ALTURA (mm)	ANCHO (mm)	LARGO (mm)
		41,4	40,3
	ÁREA (mm ²)	PRESIÓN (N)	RESISTENCIA (N/mm ²)
Figura 189. DBB 504	1668,4	8800	5,27


Fuente: Elaboración propia, figuras correspondientes a probetas ensayadas

Tabla 58. Probetas de compresión perpendicular (Daniel Veintimilla Laurel Balsa)

DBB 505 	ALTURA (mm)	ANCHO (mm)	LARGO (mm)
		40,8	41,2
	ÁREA (mm ²)	PRESIÓN (N)	RESISTENCIA (N/mm ²)
Figura 190. DBB 505	1681,0	9300	5,53

DBB 506 	ALTURA (mm)	ANCHO (mm)	LARGO (mm)
		40	39,42
	ÁREA (mm ²)	PRESIÓN (N)	RESISTENCIA (N/mm ²)
Figura 191. DBB 506	1576,8	7000	4,44

PROMEDIO 	ALTURA (mm)	ANCHO (mm)	LARGO (mm)
		40,99	40,19
	ÁREA (mm ²)	PRESIÓN (N)	RESISTENCIA (N/mm ²)
Figura 192. Promedio	1647,45	7950	4,82

OBSERVACIONES	IMAGEN
La falla más común fue la falla por cizallamiento. Debido a la poca resistencia de la balsa a compresión y por la dirección de las fibras del bambú.	 Figura 193. Observaciones

Fuente: Elaboración propia, figuras correspondientes a probetas ensayadas

4.11.3. Resultados DBB (Daniel/Bambú/Balsa) compresión perpendicular

La cantidad de probetas ensayadas fueron un total de 6. En la tabla 59 se muestran los resultados de resistencia a compresión perpendicular al plano de las probetas DBB con su valor promedio, donde la probeta DBB 505 obtuvo la mayor resistencia con un valor de 5,53 N/mm² y a través de los valores extraídos de los ensayos se determinó un valor promedio de 4,82 N/mm². Donde todas las probetas lograron tener un valor superior al valor promedio, de esta forma se logra cumplir con valores establecidos por la normativa UNE-EN 16351 de 3,00 N/mm².

Las probetas de Bambú/Balsa (*Guadua Angustifolia Kunth/Ochroma Pyramidale*), presentaron principalmente fallas por cizallamiento. Ya que las capas se ven afectas por la disposición de sus fibras, donde las fibras de Bambú resisten menos en comparación a su disposición paralela a la carga, causando un aplastamiento en las fibras del Bambú pues que se genera una disgregación en las fibras perdiendo sus cualidades resistentes a compresión y donde la Balsa falla debido a que es incapaz de soportar la compresión que se genera por la carga. Causando una rotura máxima en las fibras de Bambú y fallas en las líneas de pegado entre capas.

En la tabla 59 se muestran los resultados de desviaciones de cada probeta y la desviación estándar. El valor de desviaciones es obtenido a través del promedio de resistencia N/mm² menos el valor obtenido de cada probeta. Y en donde se pudo determinar el valor de desviación estándar para medir la dispersión de los datos obtenidos.

Dando como resultado que las desviaciones en los ensayos realizados sean muy similares con poca diferencia, con valores positivos y negativos, obteniendo una desviación estándar de 0,60. Debido a la baja resistencias que presentan las maderas dispuestas de forma perpendicular en comparación a paralela.

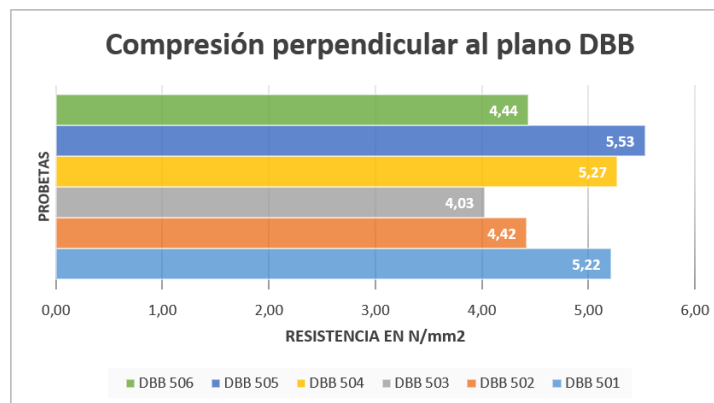
Tabla 59. Resultados DBB (Daniel/Bambú/Balsa) compresión perpendicular

CÓDIGO	RESISTENCIA (N/MM2)	DESVIACIÓN
DBB 501	5,22	0,40
DBB 502	4,42	-0,40
DBB 503	4,03	-0,79
DBB 504	5,27	0,46
DBB 505	5,53	0,71
DBB 506	4,44	-0,38
PROMEDIO	4,82	0,60

DBB: DANIEL/BAMBÚ/BALSA

Fuente: Elaboración propia

Figura 194. Resultados ensayos DBB compresión perpendicular



Fuente: Elaboración propia

Figura 195. Desviación resistencia DBB compresión perpendicular



Fuente: Elaboración propia

4.12. Ensayo de flexión perpendicular al plano

Los ensayos de flexión perpendicular al plano se llevaron a cabo con probetas de 100x 45 ± 5mm de sección transversal y de una longitud de 480mm.

Materiales y Equipos

- Máquina de ensayos Mecánica CBR (California Bearing Ratio) con capacidad de carga 44,5 kN
- 2 rodillos inferiores de 38 mm Ø y 160 mm de longitud con una distancia entre los rodillos inferiores: 320mm
- Un rodillo superior de 38mm Ø y 160mm de longitud, centrado respecto a los rodillos inferiores.
- Probetas de CLT para ensayos a compresión paralela al plano
- Calibrador digital 500-505-10 "Mitutoyo"
- Flexómetro de 5m "Stanley Pro"

Procedimiento

- Ubicar los rodillos superiores e inferiores.
- Se traza una línea en centro de la probeta para colocar con respecto al rodillo superior que se encuentra en la mitad de los rodillos inferiores a una distancia de 320mm.
- Ejercer la presión a través de una gata a dos velocidades, donde se empieza a rotar hacia la derecha para que suba la carga puntual que está siendo aplicada.
- La carga se ejecutará puntualmente de forma continua hasta que la probeta llegue a la rotura.
- Una vez alcance la carga máxima la maquina se detendrá, marcado en el anillo de carga y se registrará el valor para realizar los cálculos.

Calculo

La norma ASTM D198-02 (American Society for Testing and Materials, 2002) establece la siguiente fórmula para el cálculo de ensayos de flexión perpendicular al plano:

$$MOR = \frac{3}{2} \frac{P_{rup} L_{flex}}{b h^2}$$

Donde:

MOR = módulo de ruptura (N m⁻²);


Prup = carga a la ruptura (N);


Lflex = distancia entre apoyos (m);


b = base de la probeta (m); y


h = altura de la probeta (m)

Tabla 60. Probetas de flexión perpendicular al plano (Alex Arias Laurel Balsa)

<p style="text-align: center;"><u>ALB 501</u></p>  <p>Figura 196. ALB 501</p>	ALTURA (mm)	ANCHO (mm)	LARGO (mm)
	44,32	75.98	480,1
	ÁREA (mm ²)	PRESIÓN (N)	RESISTENCIA (N/mm ²)
	3367,4	3460	11,12


<p style="text-align: center;"><u>ALB 502</u></p>  <p>Figura 197. ALB 502</p>	ALTURA (mm)	ANCHO (mm)	LARGO (mm)
	43,9	100	480,1
	ÁREA (mm ²)	PRESIÓN (N)	RESISTENCIA (N/mm ²)
	4390,0	4080	10,36


<p style="text-align: center;"><u>ALB 503</u></p>  <p>Figura 198. ALB 503</p>	ALTURA (mm)	ANCHO (mm)	LARGO (mm)
	44,9	100,6	480
	ÁREA (mm ²)	PRESIÓN (N)	RESISTENCIA (N/mm ²)
	4516,9	3910	9,65


<p style="text-align: center;"><u>ALB 504</u></p>  <p>Figura 199. ALB 504</p>	ALTURA (mm)	ANCHO (mm)	LARGO (mm)
	45	100,38	480,2
	ÁREA (mm ²)	PRESIÓN (N)	RESISTENCIA (N/mm ²)
	4517,1	4080	9,63

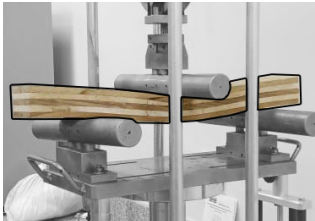
Fuente: Elaboración propia, figuras correspondientes a probetas ensayadas

Tabla 61. Probetas de flexión perpendicular al plano (Alex Arias Laurel Balsa)

ALB 505 	ALTURA (mm)	ANCHO (mm)	LARGO (mm)
		43,76	100,8
Figura 200. ALB 505	ÁREA (mm ²)	PRESIÓN (N)	RESISTENCIA (N/mm ²)
	4411,0	3910	9,72

ALB 506 	ALTURA (mm)	ANCHO (mm)	LARGO (mm)
		44,72	100,2
Figura 201. ALB 506	ÁREA (mm ²)	PRESIÓN (N)	RESISTENCIA (N/mm ²)
	4480,9	4660	11,16

PROMEDIO 	ALTURA (mm)	ANCHO (mm)	LARGO (mm)
		44,43	40,91
Figura 202. Promedio	ÁREA (mm ²)	PRESIÓN (N)	RESISTENCIA (N/mm ²)
	4280,57	4017	10,24

OBSERVACIONES	IMAGEN
Se presentaron roturas en las fibras de las capas de Laurel y de las laminas adyacentes de la balsa, por fallas de tensión y cortante de rodadura.	 Figura 203. Observaciones

Fuente: Elaboración propia, figuras correspondientes a probetas ensayadas

4.12.1. Resultados ALB (Alex/Laurel/Balsa) flexión perpendicular al plano

La cantidad de probetas ensayadas fueron un total de 6. En la tabla 62 se muestran los resultados de resistencia a flexión perpendicular al plano de las probetas ALB con su valor promedio, donde la probeta ALB 506 obtuvo la mayor resistencia con un valor de 11,16 N/mm² y mediante los valores extraídos de los ensayos se determinó un valor promedio de 10,24 N/mm². En el cual, las probetas ALB 503, 504 y 505 obtuvieron un valor inferior al promedio, se puede concluir que los valores obtenidos por los ensayos no cumplen con valores establecidos por la normativa UNE-EN 16351 de 24,00 N/mm².

Las probetas de Laurel/Balsa (*Cordia Alliodora/Ochroma Pyramidale*) fallaron principalmente por el cortante de rodadura que es un esfuerzo cortante transversal al grano, donde afectaba a la capa exterior inferior, debido a la tensión que se ejercía. Generando una división y fractura en la línea de pegado adyacente, que afecta las fibras interiores y genera problemas de delaminación entre las láminas. Pese a la deformación de las caras transversales, las láminas más perjudicadas fueron las del Laurel al ser más rígidas por su composición anatómica que la Balsa, su disposición longitudinalmente las hizo ceder rápidamente a la rotura por los esfuerzos cortante. Ya que la Balsa se deforma fácilmente al ser una madera con poca lignina, siendo menos fibrosa acoplándose a la deformación aplicada por la carga.

En la tabla 62 se muestran los resultados de desviaciones de cada probeta y la desviación estándar. El valor de desviaciones es obtenido a través del promedio de resistencia N/mm² menos el valor obtenido de cada probeta. Y en donde se pudo determinar el valor de desviación estándar para medir la dispersión de los datos obtenidos. Dando como resultado que las desviaciones en los ensayos realizados sean muy similares con poca diferencia, con valores positivos y negativos, obteniendo una desviación estándar de 0,72. Causado por el cortante de rodadura que afecta a las maderas de Laurel y Balsa, teniendo fallas similares entre cada probeta por la carga aplicada.

Dando como resultado que las desviaciones en los ensayos realizados sean muy similares con poca diferencia, con valores positivos y negativos, obteniendo una desviación estándar de 0,72. Debido a la baja resistencias que presentan las maderas dispuestas de forma perpendicular en comparación a paralela.

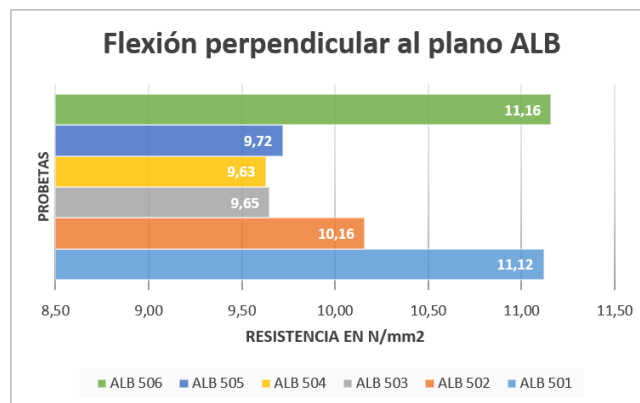
Tabla 62. Resultados ALB (Alex/Laurel/Balsa) flexión perpendicular al plano

CÓDIGO	RESISTENCIA (N/MM2)	DESVIACIÓN
ALB 501	11,12	0,88
ALB 502	10,16	-0,08
ALB 503	9,65	-0,59
ALB 504	9,63	-0,61
ALB 505	9,72	-0,52
ALB 506	11,16	0,92
PROMEDIO	10,24	0,72

ALB: ALEX/LAUREL/BALSA

Fuente: Elaboración propia

Figura 204. Resultados ensayos ALB flexión perpendicular al plano




Fuente: Elaboración propia


Figura 205. Desviación resistencia ALB flexión perpendicular al plano





Fuente: Elaboración propia

Tabla 63. Probetas de flexión perpendicular al plano (Pedro Mantilla Laurel Balsa)

<p style="text-align: center;"><u>PBL 501</u></p>  <p>Figura 206. PBL 501</p>	ALTURA (mm)	ANCHO (mm)	LARGO (mm)
	42	87,2	480,3
	ÁREA (mm ²)	PRESIÓN (N)	RESISTENCIA (N/mm ²)
	3662,4	6220	19,40


<p style="text-align: center;"><u>PBL 502</u></p>  <p>Figura 207. PBL 502</p>	ALTURA (mm)	ANCHO (mm)	LARGO (mm)
	41,58	100,4	480,2
	ÁREA (mm ²)	PRESIÓN (N)	RESISTENCIA (N/mm ²)
	4174,6	6660	18,41


<p style="text-align: center;"><u>PBL 503</u></p>  <p>Figura 208. PBL 503</p>	ALTURA (mm)	ANCHO (mm)	LARGO (mm)
	41,38	101	480,3
	ÁREA (mm ²)	PRESIÓN (N)	RESISTENCIA (N/mm ²)
	4179,4	4660	12,93


<p style="text-align: center;"><u>PBL 504</u></p>  <p>Figura 209. PBL 504</p>	ALTURA (mm)	ANCHO (mm)	LARGO (mm)
	43	101,58	480,3
	ÁREA (mm ²)	PRESIÓN (N)	RESISTENCIA (N/mm ²)
	4367,9	8660	22,13

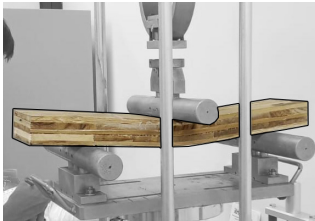
Fuente: Elaboración propia, figuras correspondientes a probetas ensayadas

Tabla 64. Probetas de flexión perpendicular al plano (Pedro Mantilla Laurel Balsa)

<u>PBL 505</u> 	ALTURA (mm)	ANCHO (mm)	LARGO (mm)
		44,4	102,3
	ÁREA (mm ²)	PRESIÓN (N)	RESISTENCIA (N/mm ²)
Figura 210. PBL 505	4542,1	8440	20,08

<u>PBL 506</u> 	ALTURA (mm)	ANCHO (mm)	LARGO (mm)
		45,1	101
	ÁREA (mm ²)	PRESIÓN (N)	RESISTENCIA (N/mm ²)
Figura 211. PBL 506	4480,9	9550	22,31

<u>PROMEDIO</u> 	ALTURA (mm)	ANCHO (mm)	LARGO (mm)
		42,91	98,91
	ÁREA (mm ²)	PRESIÓN (N)	RESISTENCIA (N/mm ²)
Figura 212. Promedio	4246,93	7365	19,21

OBSERVACIONES	IMAGEN
La falla más común es por la línea de pegado, tiende a ocurrir por una falla de unión, causado por la distribución de la capa intermedia de bambú.	 Figura 213. Observaciones

Fuente: Elaboración propia, figuras correspondientes a probetas ensayadas

4.12.2. Resultados PBL (Pedro/Bambú/Laurel) flexión perpendicular al plano

La cantidad de probetas ensayadas fueron un total de 6. En la tabla 65 se muestran los resultados de resistencia a flexión perpendicular al plano de las probetas PBL con su valor promedio, donde la probeta PBL 504 obtuvo la mayor resistencia con un valor de 22,13 N/mm² y mediante los valores extraídos de los ensayos se determinó un valor promedio de 19,21 N/mm². En el cual, la probeta PBL 502 obtuvo un valor inferior al promedio, se puede concluir que los valores obtenidos por los ensayos no cumplen con valores establecidos por la normativa UNE-EN 16351 de 24,00 N/mm².

Las probetas de Bambú/Laurel (*Guadua Angustifolia Kunth/ Cordia Alliodora*) fallaron por la línea de pegado, que generalmente tienden a ocurrir por una falla en la unión, causando una delaminación entre las tablas adyacentes de Laurel con las capas de bambú superior e inferior. La segunda falla presente es la falla por rodadura que genera una tensión y esfuerzo cortante. La capa intermedia fue la más afectada en su línea de pegado, causando una división por la disposición de las tablas de bambú fue alternada en dos sentidos lo que generó una menor adherencia debido a la corteza de silicio del bambú frente a las tablas de Laurel dispuestas transversalmente.

En la tabla 65 se muestran los resultados de desviaciones de cada probeta y la desviación estándar. El valor de desviaciones es obtenido a través del promedio de resistencia N/mm² menos el valor obtenido de cada probeta. Y en donde se pudo determinar el valor de desviación estándar para medir la dispersión de los datos obtenidos.

Dando como resultado que las desviaciones en los ensayos realizados sean variadas, con valores dispersos positivos y negativos, obteniendo como resultado una desviación estándar de 3,44. Esto es causado por la falla en la línea de pegado que se presenta en las capas de Bambú y Laurel donde ocurre una división completa de las capas por los esfuerzos cortantes y la mala adherencia que se obtuvo por el Bambú dispuesto con caras alternadas boca arriba y boca abajo.

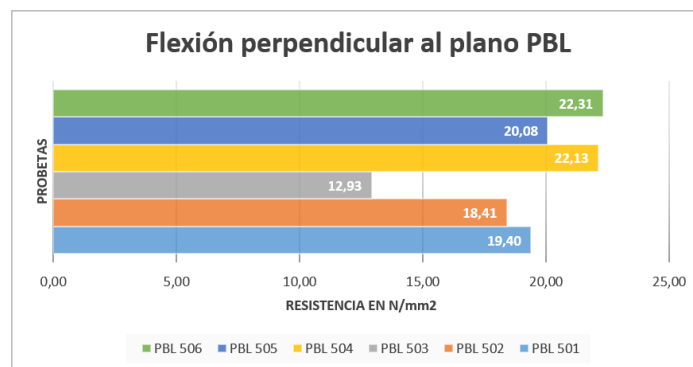
Tabla 65. Resultados PBL (Pedro/Bambú/Laurel) flexión perpendicular al plano

CÓDIGO	RESISTENCIA (N/MM2)	DESVIACIÓN
PBL 501	19,40	0,19
PBL 502	18,41	-0,80
PBL 503	12,93	-6,28
PBL 504	22,13	2,92
PBL 505	20,08	0,87
PBL 506	22,31	3,10
PROMEDIO	19,21	3,44

PBL: PEDRO/BAMBÚ/LAUREL

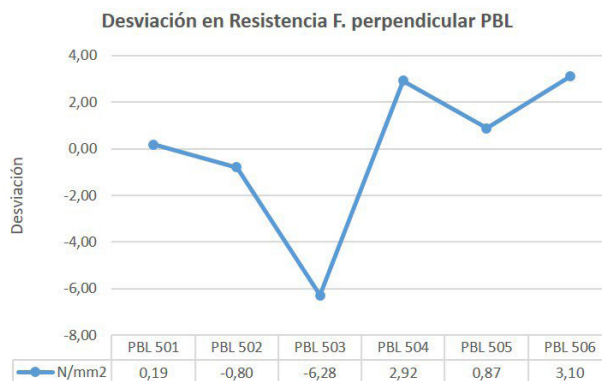
Fuente: Elaboración propia

Figura 214. Resultados ensayos PBL flexión perpendicular al plano




Fuente: Elaboración propia


Figura 215. Desviación resistencia PBL flexión perpendicular al plano





Fuente: Elaboración propia

Tabla 66. Probetas de flexión perpendicular al plano (Daniel Veintimilla Laurel Balsa)

<p style="text-align: center;"><u>DBB 501</u></p>  <p>Figura 216. DBB 501</p>	ALTURA (mm)	ANCHO (mm)	LARGO (mm)
	43,98	100	480
	ÁREA (mm ²)	PRESIÓN (N)	RESISTENCIA (N/mm ²)
	4398,0	9330	23,15


<p style="text-align: center;"><u>DBB 502</u></p>  <p>Figura 217. DBB 502</p>	ALTURA (mm)	ANCHO (mm)	LARGO (mm)
	42,94	100,96	480,2
	ÁREA (mm ²)	PRESIÓN (N)	RESISTENCIA (N/mm ²)
	4335,2	8440	21,76


<p style="text-align: center;"><u>DBB 503</u></p>  <p>Figura 218. DBB 503</p>	ALTURA (mm)	ANCHO (mm)	LARGO (mm)
	42,2	82,9	480,1
	ÁREA (mm ²)	PRESIÓN (N)	RESISTENCIA (N/mm ²)
	3498,4	6000	19,5


<p style="text-align: center;"><u>DBB 504</u></p>  <p>Figura 219. DBB 504</p>	ALTURA (mm)	ANCHO (mm)	LARGO (mm)
	44	101,4	470,9
	ÁREA (mm ²)	PRESIÓN (N)	RESISTENCIA (N/mm ²)
	4461,6	6440	15,74

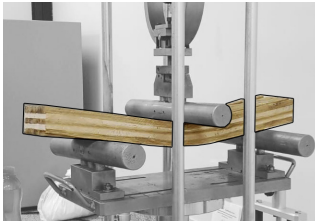
Fuente: Elaboración propia, figuras correspondientes a probetas ensayadas

Tabla 67. Probetas de flexión perpendicular al plano (Daniel Veintimilla Laurel Balsa)

DBB 505 	ALTURA (mm)	ANCHO (mm)	LARGO (mm)
		40,9	100,7
	ÁREA (mm ²)	PRESIÓN (N)	RESISTENCIA (N/mm ²)
Figura 220. DBB 505	4118,6	5110	14,56

DBB 506 	ALTURA (mm)	ANCHO (mm)	LARGO (mm)
		41,9	100
	ÁREA (mm ²)	PRESIÓN (N)	RESISTENCIA (N/mm ²)
Figura 221. DBB 506	4190,0	5330	14,57

PROMEDIO 	ALTURA (mm)	ANCHO (mm)	LARGO (mm)
		42,65	97,66
	ÁREA (mm ²)	PRESIÓN (N)	RESISTENCIA (N/mm ²)
Figura 222. Promedio	4166,97	6775	18,21

OBSERVACIONES	IMAGEN
Las fallas más comunes se dieron por el cortante y la tensión de rodadura. Generando una presión en las fibras perpendiculares de la Balsa.	 Figura 223. Observaciones

Fuente: Elaboración propia, figuras correspondientes a probetas ensayadas

4.12.3. Resultados DBB (Daniel/Bambú/Balsa) flexión perpendicular al plano

La cantidad de probetas ensayadas fueron un total de 6. En la tabla 68 se muestran los resultados de resistencia a flexión perpendicular al plano de las probetas DBB con su valor promedio, donde la probeta DBB 506 obtuvo la mayor resistencia con un valor de 23,15 N/mm² y mediante los valores extraídos de los ensayos se determinó un valor promedio de 18,21 N/mm². En el cual, las probetas DBB 504, 505 y 506 obtuvieron un valor inferior al promedio, se puede concluir que los valores obtenidos por los ensayos no cumplen con valores establecidos por la normativa UNE-EN 16351 de 24,00 N/mm².

Las probetas de Bambú/Balsa (*Guadua Angustifolia Kunth/Ochroma Pyramidale*) fallaron por el cortante de rodadura afectando la resistencia transversal de las capas. Causando una división y fractura en la línea de pegado adyacente, que afecta las fibras de las tablas de la Balsa. Generando una rotura en las fibras por su baja densidad y la dirección de sus fibras dispuestas de forma transversal; frente al Bambú que por sus características de alta resistencia, elasticidad, rigidez y tensión en su capa exterior compuesta de silicio y fibroblastos. No presenta fallas en sus capas de Bambú.

En la tabla 68 se muestran los resultados de desviaciones de cada probeta y la desviación estándar. El valor de desviaciones es obtenido a través del promedio de resistencia N/mm² menos el valor obtenido de cada probeta. Y en donde se pudo determinar el valor de desviación estándar para medir la dispersión de los datos obtenidos.

Dando como resultado que las desviaciones en los ensayos realizados sean variadas, con valores dispersos positivos y negativos, obteniendo como resultado una desviación estándar de 3,78. Esto es causado por la falla en la línea de pegado que se presenta en las capas de Balsa, donde ocurre un desprendimiento de las fibras por los esfuerzos cortantes.

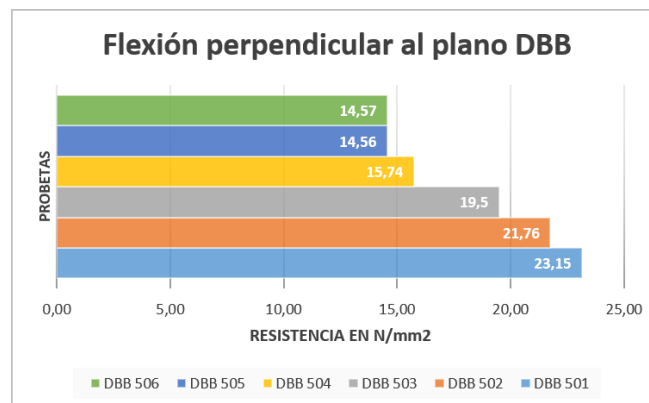
Tabla 68. Resultados DBB (Daniel/Bambú/Balsa) flexión perpendicular al plano

CÓDIGO	RESISTENCIA (N/MM2)	DESVIACIÓN
DBB 501	23,15	4,94
DBB 502	21,76	3,55
DBB 503	19,5	1,29
DBB 504	15,74	-2,47
DBB 505	14,56	-3,65
DBB 506	14,57	-3,64
PROMEDIO	18,21	3,78

DBB: DANIEL/BAMBÚ/BALSA

Fuente: Elaboración propia

Figura 224. Resultados ensayos DBB flexión perpendicular al plano



Fuente: Elaboración propia

Figura 225. Desviación resistencia DBB flexión perpendicular al plano



Fuente: Elaboración propia

4.12.4. Comparación entre ALB, DBB y PBL

4.12.4.1. Compresión paralela al grano

Las probetas ALB (Alex/Laurel/Balsa) sufrieron el fallo por cizallamiento al igual que las probetas DBB (Daniel/Bambú/Balsa) presentando diferencias entre sí en las capas afectadas. Donde las probetas de (Laurel/Balsa) presentan defectos principalmente en las capas exteriores, llegando a presentar grietas y roturas en las capas de Laurel y en la Balsa presentando roturas iniciales. Mientras que en las probetas de (Bambú/Balsa) se puede visualizar que las capas de Balsa son las más afectadas por los esfuerzos cortantes, donde el bambú no se ve afectado.

Por otra parte las probetas PBL (Pedro/Bambú/Laurel) Si bien llega a presentar fallo por la línea de pegado, es la que responde mejor ante esfuerzos de compresión con valores de 31,55N/mm² seguido por las probetas de (Bambú/Balsa) con 30,9N/mm² teniendo una resistencia similar. En comparación con las probetas de (Laurel/Balsa) que resisten 22,63N/mm², estas diferencias se deben por las características propias de las maderas trabajadas donde cada una se desempeña mejor en diferentes áreas y donde también influye el material usado que puede presentar imperfecciones al ser reciclados.

4.12.4.2. Compresión perpendicular al plano

Las probetas ALB (Alex/Laurel/Balsa) fallaron por cizallamiento, llegando a presentar también fallas por aplastamiento en ambas capas, al ser maderas blandas y semiduras no resisten mucha carga. A su vez las probetas de DBB (Daniel/Bambú/Balsa) presentan fallas por cizallamiento, pero éstas presentan las roturas en la fibra en el Bambú por la disposición de sus fibras ubicadas perpendicularmente a la carga, que al estar adheridas con la Balsa generan un desprendimiento de las fibras. Siendo que, las probetas de PBL (Pedro/Bambú/Laurel) Son las que mejor responde a la compresión perpendicular al plano con fallas por cizallamiento, con una resistencia 13,36N/mm², seguida por las probetas de ALB (Laurel/Balsa) y DBB (Bambú/Balsa) con resistencias muy similares de 4,94N/mm² y 4,82 N/mm².

Dando como conclusión que las probetas a compresión perpendicular tienden a soporta $\frac{1}{4}$ parte de lo que soporta las probetas de compresión paralela, influenciado por la disposición de las fibras.

4.12.4.3. Flexión perpendicular al plano

Las probetas ALB (Alex/Laurel/Balsa) sufrieron fallo por cortante de rodadura generando tensiones altas en las capas exteriores generando roturas y fisuras principalmente en las capas de Laurel, mientras que las probetas DBB (Daniel/Bambú/Balsa) si bien fallaron por cortante de rodadura. Las capas más afectadas más afectadas fueron las capas intermedias de Balsa, ya que no es tan resistente a los esfuerzos cortantes y de tensión frente al bambú. Las probetas de PBL (Pedro/Bambú/Laurel) principalmente fallaron por la línea de pegado en las capas intermedias debido a la disposición de las láminas de bambú que fueron alternadas en función de las caras de las fibras (interior) y las de sílice (exterior). Dando como resultado una adherencia inestable, a pesar del fallo por la línea de pegado soportó más que las probetas de (Laurel/Balsa) la cual alcanzo un valor de resistencia de 10,24N/mm² frente a las probetas de (Bambú/Laurel) obteniendo una resistencia 18,21/mm².

Donde las probetas de (Bambú/Balsa) tienen una resistencia superior promedio de 19,21N/mm², siendo el fallo por rodadura el más común en las probetas ensayadas. El bambú le otorga una alta resistencia a flexión por sus propiedades de resistencia, rigidez y tensión que le otorga su composición anatómica y por las propiedades de la Balsa, que al ser una madera blanda y hueca. Se deforma con facilidad por su baja lignina, acompañando a las deformaciones dadas por la carga aplicada.

4.13. Comparación de valores característicos del CLT (UNE-EN 16351) y CLT Local

4.14. Compresión paralela al plano

Los valores característicos de establecidos por la normativa UNE-EN 16351 (tabla 69) establece una resistencia de 21,00 N/mm², donde las probetas ALB, DBB y PBL logran cumplir e incluso superar los estándares establecidos, siendo las probetas DBB la que tiene los valores más altos en resistencia con valores de 31,55N/mm² seguida de las probetas PBL con un valor promedio 30,9 N/mm² similar al de las probetas DBB. Además, la probeta ALB también cumple con los estándares establecidos con una resistencia de 22,63 N/mm². Así, podemos destacar las características de las probetas de Laurel y Balsa que responden bien frente a la resistencia a la compresión paralela al plano (tabla 70).

4.15. Compresión perpendicular al plano

Los valores característicos de establecidos por la normativa UNE-EN 16351 (tabla 69) establece una resistencia de 3,00 N/mm², donde las probetas ALB, DBB y PBL obtienen valores superiores a los estándares establecidos, como las probetas PBL que tiene los valores más altos en resistencia con valores de 13,36 N/mm² seguida de las probetas ALB con valores de 4,94 N/mm². Similar al de las probetas DBB con valores de 4,82 N/mm² que tiene menor resistencia debido a su combinación con Balsa, dando como resultado una menor resistencia a la compresión, que a su vez es influenciado por la disposición de las fibras de la Bambú y Balsa que se encuentran perpendicular a la carga, causa que sean más susceptibles a las fallas por corte (tabla 70).

4.16. Flexión perpendicular al plano

Los valores característicos de establecidos por la normativa UNE-EN 16351 (tabla 69) establece una resistencia de 24,00 N/mm², donde las probetas de ALB, DBB y PBL no logran cumplir los estándares establecidos; no obstante, logran tener valores cercanos como las probetas de DBB con valores 19,21 N/mm² y las probetas PBL con valores de 18,21 N/mm², siendo las probetas ALB la que presenta valores inferiores a las otras probetas con un valor de 10,24 N/mm². Estas diferencias se ven reflejadas por las composiciones de las muestras, ya sea por las especies, el adhesivo, la distribución de las capas y los defectos naturales presentes en las maderas (tabla 70).

Tabla 69. Valores característicos de resistencia de la madera contralaminada (CLT) según UNE-EN 16351

RESISTENCIA A COMPRESIÓN PARALELA AL PLANO	($f_{c,0,k}$)	21,00 N/MM²
RESISTENCIA A COMPRESIÓN PERPENDICULAR AL PLANO	($f_{c,90,k}$)	3,00 N/MM²
RESISTENCIA A FLEXIÓN	($f_{m,k}$)	24,00 N/MM²

Fuente: Elaboración propia en base a Asociación Española de Normalización, (2021)

Tabla 70. Comparación de valores característicos de CLT (UNE-EN 16351) y CLT local

COMPRESIÓN PARALELA AL PLANO	($F_{C,0,K}$)	21,00 N/MM²
ALB	($F_{C,0,K}$)	22,63 N/MM²
PBL	($F_{C,0,K}$)	30,9 N/MM²
DBB	($F_{C,0,K}$)	31,55 N/MM²
COMPRESIÓN PERPENDICULAR AL PLANO	($F_{C,90,K}$)	3,00 N/MM²
ALB	($F_{C,90,K}$)	4,94 N/MM²
PBL	($F_{C,90,K}$)	13,36 N/MM²
DBB	($F_{C,90,K}$)	4,82 N/MM²
FLEXIÓN PERPENDICULAR AL PLANO	($F_{M,K}$)	24,00 N/MM²
ALB	($F_{M,K}$)	10,24 N/MM²
PBL	($F_{M,K}$)	18,21 N/MM²
DBB	($F_{M,K}$)	19,21 N/MM²

ALB: ALEX/LAUREL/BALSA

PBL: PEDRO/BAMBÚ/LAUREL

DBB: DANIEL/BAMBÚ/BALSA

Fuente: Elaboración propia

5. Conclusión

Se pudo determinar que las propiedades mecánicas de los paneles CLT locales producidos con *Cordia Alliodora* (Laurel costeño), *Guadua Angustifolia* Kunth (Guadua), *Ochroma Pyramidale* (Balsa) ofrecen resultados óptimos similares a los valores establecidos por la normativa UNE-EN 16351. Los ensayos a compresión paralela al plano demuestran valores superiores a la normativa establecida con 21,00 N/mm², ya que presentan valores entre 22,63 N/mm² a 31,55 N/mm² siendo los paneles de DBB y PBL los que obtienen una mejor resistencia a flexión, a pesar de que las probetas de ALB supera los valores establecidos.

En cuanto a los ensayos de compresión perpendicular al plano, los paneles cumplen los valores óptimos de los estándares establecidos de 3,00 N/mm², los paneles de PBL (Bambú Laurel) obtuvieron el mejor comportamiento mecánico con un valor promedio de 13,36N/mm² comparado con los paneles de DBB (Bambú/Balsa) y ALB (Laurel/Balsa) con valores similares de 4,94 N/mm². Respecto a los ensayos de flexión perpendicular, se cuentan con valores inferiores a los establecidos por la normativa, que tiene un valor de 24,00 N/mm², donde los paneles de DBB (Bambú/Balsa) y PBL (Bambú/Laurel) son superiores a los paneles ALB (Laurel/Balsa) con valores entre 19,21 N/mm² y 18,21 N/mm².

Las fallas presentadas en los ensayos a flexión son similares, como es el caso de falla por rodadura y falla en línea de pegado. Se observaron delaminaciones en las capas colocadas perpendicularmente del panel, donde se desprenden las fibras de las capas intermedias y donde las fibras eran cortadas transversalmente por el esfuerzo, que ocasionaba un aplastamiento. El fallo por la línea de pegado se presentó principalmente en los paneles de PBL (Bambú/Laurel) ocasionado por la disposición de las capas intermedias de Bambú entre las capas de Laurel.

En las fallas de compresión paralela se presentaron dos tipos de fallas por cizallamiento y por línea de pegado. Ya que, debido a la carga axial, se generan grietas a 45° presentando grietas diagonales en las capas externas e internas. Inevitablemente por defectos de las maderas naturalmente antes de ensayar, se presentan las fallas en las líneas de pegado. A su vez, en las fallas en la compresión perpendicular al plano se presentaron las mismas fallas, pero con resultados menos favorables, donde se llega a presentar roturas

completas en las fibras, desprendimientos parciales en las capas, aplastamiento de las fibras y mayor presencia de grietas en las probetas ensayadas. Porque las maderas resisten menos carga dispuestas perpendicularmente, causando una tensión uniforme.

Como resultado, se puede decir que los paneles ALB, DBB Y PBL, cumplen casi con todos los valores seleccionados a comparar con la normativa UNE-EN 16351. A excepción de los valores a flexión perpendicular al plano porque existe una tendencia común en relación al espesor de los paneles CLT que a mayor espesor, habrá mayor rigidez y resistencia del panel. Además hay que mencionar que estos resultados no son definitivos ni concluyentes, pero otorgan resultados alentadores como lo son los ensayos a compresión perpendicular y paralela. Se debe trabajar en nuevos ensayos que mejoren las capacidades de esfuerzos presentes en las probetas a flexión, que dan resultados válidos para investigaciones futuras respecto a este tema.

Las recomendaciones que sugerimos son:

- Es necesario realizar un estudio de campo para determinar la cantidad de residuos y los tipos de maderas que se trabajan a nivel nacional.
- Es importante realizar correctamente la etapa de secado de la madera, preferiblemente si se lo hace de forma natural para evitar deformaciones y defectos en la madera.
- Es importante realizar una correcta clasificación visual para determinar las maderas a utilizar, según sus propiedades físicas y sus defectos tales como: nudos, perforaciones por polilla u otro defecto.
- Es necesario realizar ensayos con un mayor espesor para las capas de las muestras para comprobar si a mayor espesor mayor resistencia a flexión perpendicular.
- Se deberá realizar ensayos a tracción, rodadura, cizallamiento en línea de pegado para cumplir los parámetros regulatorios de la normativa UNE-EN 16351.

6. REFERENCIAS

- Aguirre Mendoza, Z. (2015). *Especies forestales más aprovechadas en la región sur del Ecuador*. Ediloja.
- Aguirre, Z. (2012). *Especies forestales de los bosques secos del Ecuador. Guía dendrológica para su identificación y caracterización*. Proyecto Manejo Forestal Sostenible ante el Cambio Climático. MAE/FAO - Finlandia.
- Akzonobel. (2004). *Ficha técnica 1369—1370*. Casco adhesives. www.cascoadhesives.com
- Alava Escalante, N. S. (2023). Diagnóstico de la generación de residuos de madera teca y aprovechamiento ambiental en el cantón el empalme, provincia del guayas [Grado, Universidad de Guayaquil]. <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/68072>
- Álvarez del Río, A. (2016). *El panel de madera contralaminada. Cerramiento ecoeficiente en España* [Grado, Universidad de Valladolid]. <http://uvadoc.uva.es/handle/10324/19666>
- American National Standards Institute. (2019). *Standard for Performance-Rated Cross-Laminated Timber*. (ANSI / APAPRG 320). <https://www.apawood.org/ansi-apa-prg-320>
- American Society for Testing and Materials. (2002). *Standard Test Methods of Static Tests of Lumber in Structural Sizes*. (ASTM D198-02). <https://la.astm.org/es/standards/>
- Arauco. (2021). Reporte Sostenibilidad 2021 / Lo que somos (p. 133) [Empresarial]. www.arauco.cl
- Arévalo, J., & Gómez, A. (2011). *Plan de negocios para una empresa de reciclaje que vincule a recicladores de oficio con inversionistas privados en la ciudad de Bogotá* [Grado, Pontificia Universidad Javeriana]. <https://repository.javeriana.edu.co/handle/10554/9484>
- Arriols, E. (2018, noviembre 27). *Importancia del reciclaje de madera* [Blog]. EcologíaVerde. <https://www.ecologiaverde.com/importancia-del-reci->

claje-de-madera-1706.html

Arroyo Vinueza, J. S. (2016). Aprovechamiento del recurso biomasa a partir de los desechos de madera para una caldera de vapor [Grado, Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito]. <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/11994>

Asociación Ecuatoriana de la Industria Forestal y de la Madera. (2023). *InfoAIMA 2023: Enero-Febrero-Marzo* (1; p. 20). <https://aima.org.ec/>

Asociación Española de Normalización. (2017). Madera estructural. Clases resistentes. (UNE-EN 338). <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0056253>

Asociación Española de Normalización. (2021). Estructuras de madera—Madera contralaminada—Requisitos. (UNE-EN 16351). <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0056253>

Banco Mundial. (2020a). *La Construcción de viviendas en madera en Chile: Un pilar para el desarrollo sostenible y la Agenda de Reactivación* (Informe 154785; p. 142). <https://documentos.bancomundial.org/es/publication/documents-reports/documentdetail/224671607109191179/la-construcci%C3%B3n-de-viviendas-en-madera-en-chile-un-pilar-para-el-desarrollo-sostenible-y-la-agenda-de-reactivaci%C3%B3n>

Banco Mundial. (2020b). *Los Bosques de Chile: Un Pilar para el Desarrollo Inclusivo y Sostenible* (Reporte 149110; p. 54). Grupo del Banco Mundial. <https://documents.worldbank.org/en/publication/documents-reports/documentdetail/466411591268480067/chile-s-forests-a-pillar-for-inclusive-and-sustainable-development>

Berrocal, A., Moya, R., & Gaitán, J. (2021). *Guía para la preservación de madera por el método de inmersión—Difusión con sales de boro*. Instituto Tecnológico de Costa Rica Escuela de Ingeniería Forestal.

BINDERHOLZ. (s/f). La Empresa. Binderholz.

BINDERHOLZ. (2021a). *MADERA CONTRACHAPADA CLT BBS BINDER-*

- HOLZ. https://www.binderholz.com/fileadmin/user_upload/books/es/binderholz_clt_bbs/2/index.html
- BINDERHOLZ. (2021b). *PRODUCTOS binderholz CLT BBS* [Corporativo]. binderholz. <https://www.binderholz.com/produkte/brettsperrholz-bbs/>
- Borofertil. (s/f). *EL BORO EN EL TRATAMIENTO DE MADERA* [Blog]. Borofertil.
- Burgos, G. P., Castañeda, Z. F., Mesías Pilco Parra, M. B. A., Sánchez, C., & Barberán, E. G. R. (1997). *Construcción de Viviendas con caña guadua en el Ecuador, una realidad amigable y sustentable*.
- Caamaño González, J. M. (2021). La huella ambiental y el CLT en el sector de la construcción frente al cambio climático. *DePlano*, 4–6.
- Caisa Yucailla, E. D., Padilla Martínez, M. P., & Ríos Lara, G. F. (2020). El reciclaje de madera una herramienta para emprender y cuidar el planeta: Recycling a future look for the businessman. *INNOVA Research Journal*, 5(1), 164–179. <https://doi.org/10.33890/innova.v5.n1.2020.1038>
- Canal UPM (Director). (2019, marzo 7). *SFCM 18/19 13: Sistemas constructivos para edificios en altura en madera* [Video]. <https://www.youtube.com/watch?v=GPE-CH6555g>
- Cañadas, A., Rade, D., & Domínguez, J. M. (2016). *Modelación forestal como innovación tecnológica para el manejo silvicultural y aprovechamiento económico de la Balsa, Región Costa-Ecuador* (Primera edición). Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP).
- CEPAL. (2022). *La cadena de valor de la vivienda rural en la provincia de Manabí (Ecuador)* (Documento de proyecto 137; pp. 18–23). Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). <https://hdl.handle.net/11362/48174>
- CEPSA. (2015). *El Cambio Climático y los Gases de Efecto Invernadero (GEI) en Cepsa*. CEPSA.
- Córdova Alcívar, P. L. (2014). *Obtención de las propiedades mecánicas y es-*

- estructurales de la caña Guadúa Angustifolia Kunth del Ecuador*. [Grado, Universidad Católica de Santiago de Guayaquil]. <http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/1423>
- Correal, J. F., Echeverry, J. S., Ramírez, F., & Yamín, L. E. (2014). Experimental evaluation of physical and mechanical properties of Glued Laminated Guadua angustifolia Kunth. *Construction and Building Materials*, 73, 105–112. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.09.056>
- Cross-laminated timber (CLT) – a state of the art report. (2018). *Journal of the Croatian Association of Civil Engineers*, 70(02), 75–95. <https://doi.org/10.14256/JCE.2071.2017>
- Cuadrado Sanchez, M. del C. (2020). *Comparativa entre los orígenes de la edificación en altura en acero y primeros proyectos en madera contralaminada* [Grado, Universidad de Valladolid]. <http://uvadoc.uva.es/handle/10324/45039>
- Da Silva, A., & Kyriakides, S. (2007). Compressive response and failure of balsa wood. *International Journal of Solids and Structures*, 44(25–26), 8685–8717. <https://doi.org/10.1016/j.ijsolstr.2007.07.003>
- De Araujo, V., & Christoforo, A. (2023). The Global Cross-Laminated Timber (CLT) Industry: A Systematic Review and a Sectoral Survey of Its Main Developers. *Sustainability*, 15(10). <https://doi.org/10.3390/su15107827>
- De Mello Barreto, M. I., De Araujo, V. A., Cortez-Barbosa, J., Christoforo, A. L., & Moura, J. D. de M. (2019). Structural Performance Analysis of Cross-Laminated Timber-Bamboo (CLTB). *BioResources; Vol 14, No 3 (2019)*. https://jtatm.textiles.ncsu.edu/index.php/BioRes/article/view/BioRes_14_3_5045_Barreto_Structure_Cross_Laminated
- Disma. (2018). *Ficha técnica blancola*. Disma. www.cascoadhesives.com
- Dong, W., Wang, Z., Chen, G., Wang, Y., Huang, Q., & Gong, M. (2023). Bonding performance of cross-laminated timber-bamboo composites. *Journal of Building Engineering*, 63, 105526. <https://doi.org/10.1016/j.jbe.2023.105526>

jobe.2022.105526

Donoso Sánchez, A. V. (2010). *Diseño de componentes constructivos con ecomateriales para edificaciones de la costa ecuatoriana* [Grado, Universidad Católica de Santiago de Guayaquil]. <http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/10861>

ecverde. (2022, septiembre 18). *¿Qué es el «Cradle to Cradle»?* [Blog]. *economiacircularverde*. <https://economiacircularverde.com/que-es-el-cradle-to-cradle-de-la-cuna-a-la-cuna/>

edmcasas. (2021, abril 4). *Casa Biduido* [Corporativo]. *edmcasas*. <https://edmcasas.com/proyectos/casa-biduido/>

Eider Edison, J. Y. (2022). Estudio técnico económico para la instalación de una planta productora de baldosas a base de compuestos poliméricos de residuos de madera y plásticos [Grado, Universidad de Guayaquil]. <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/60344>

Escobar, O., & Rodríguez, J. R. (1994). *Las maderas en Colombia*. SENA, Regional Antioquia Chocó.

Espinosa, P., Proaño, D., Barrera Peñafiel, L., & Crespo, E. (2018). *Catálogo de madera Estructural de Ecuador*.

Estévez Chorro, R. (2015). *Valoración comparativa de la eco-eficiencia de los paneles de madera contralaminada* [Grado, Universidad de Alicante]. <http://hdl.handle.net/10045/48919>

FAO. (2004). *Ensayos Internacionales de Especies y Procedencias de Especies de Acacia y Prosopis de la Zona Seca: Resultados de las evaluaciones 1990-1994* (pp. 31–38).

Feng, M., He, G., Zhang, Y., Wang, X.-M., Kousini, L., & Paleologou, M. (2022). *Lignina kraft/soda de alto contenido residual (HRC) como ingrediente en adhesivos para madera* (Oficina Española de Patentes y Marcas Patent ES 2 930 452 T3).

Finsa. (2021). Estado de información no financiera 2021 (Gestión 10; p. 46).

Financiera Maderera S.A (FINSA).

Fuentes Arcos, E. I. (2022). *Limitaciones para la implementación de madera laminada estructural (CLT, GLT y LVL) en Ecuador* [Grado, Universidad San Francisco de Quito]. <http://repositorio.usfq.edu.ec/handle/23000/11701>

Gacitúa Escobar, W. A. (2020). *Un adhesivo urea-formaldehído de baja emisión de formaldehído, útil para la fabricación de tableros de madera, que comprende nanofibras de celulosa y nanopartículas de cobre; proceso para obtención del mismo* (Organización Mundial de la Propiedad Intelectual Patent WO 2020/000117 AI). <https://patentscope.wipo.int/search/es/detail.jsf?docId=WO2020000117>

Gadow, K. v. (2004). *Forsteinrichtung, Steuerung und Analyse der Waldentwicklung*. Universitätsverlag Göttingen: Göttingen.

Galih, N. M., Yang, S. M., Yu, S. M., & Kang, S. G. (2020). Study on the Mechanical Properties of Tropical Hybrid Cross Laminated Timber Using Bamboo Laminated Board as Core Layer. *Journal of the Korean Wood Science and Technology*, 48(2), 245–252. <https://doi.org/10.5658/WOOD.2020.48.2.245>

García Ochoa, J. A., Quito Rodríguez, J. C., & Perdomo Moreno, J. A. (2020). *Análisis de la huella de carbono en la construcción y su impacto sobre el ambiente*.

García-Alvarado, R., Rojas-Wilckens, I., & Vargas-Mosqueda, M. (2021). Análisis de la Modulación Arquitectónica en Edificaciones Menores de CLT; estudio de casos. *Informes de la Construcción*, 73(562), e387. <https://doi.org/10.3989/ic.77708>

Gines, J., Lewis, V., Barnett, J., & Shrader, S. (2022, diciembre 8). *Interlocking cross laminated timber*. *methodstudio*. <https://method-studio.com/interlocking-cross-laminated-timber/>

Godoy, D., Vega, A., & Baño, V. (2017). *CARACTERIZACIÓN DE PANELES*

DE MADERA CONTRALAMINADA (CLT) FABRICADOS A PARTIR DE TABLAS DE PINUS TAEDA/ELLIOTTII DE BAJAS PROPIEDADES MECÁNICAS. 1–9.

- González-Luna, H. M., & Cruz-Castillo, J. B. (2021). Anatomía y propiedades físicas de dos especies forestales comerciales Cedro (*Cedrela odorata* L.) y Laurel (*Cordia alliodora* (Ruiz & Pav.) Oken) en Nicaragua. *La Calera*, 21(37), 81–86. <https://doi.org/10.5377/calera.v21i37.12535>
- Grijalva, J., Checa, X., Ramos, R., Barrera, P., & Limongi, R. (2012). *Situación de los Recursos Genéticos Forestales–Informe País Ecuador. Preparado por el Programa Nacional de Forestería del INIAP con aval del INIAP. FAO/MAE/MAGAP/MMRREE. Documento sometido a la Comisión Forestal de la FAO*
- Harte, A. M. (2017). Mass timber – the emergence of a modern construction material. *Journal of Structural Integrity and Maintenance*, 2(3), 121–132. <https://doi.org/10.1080/24705314.2017.1354156>
- Indacochea Ganchozo, B. (2013). *Contribución a la conservación y propagación de clones superiores de Cordia Alliodora (Ruiz & Pav). Oken, en la microrregión sur de Manabí. Pinar del Río/Universidad de Pinar del Río/2013.*
- International Bamboo and Rattan Organization. (2023). *INBAR Annual Highlights 2022*. https://www.inbar.int/es/resources/inbar_publications/inbar-annual-highlights-2022/
- Karacabeyli, E., & Gagnon, S. (2019). *Canadian CLT Handbook*. fpinnovations. <https://web.fpinnovations.ca/clt/>
- Khasreen, M., Banfill, P. F., & Menzies, G. (2009). Life-Cycle Assessment and the Environmental Impact of Buildings: A Review. *Sustainability*, 1(3), 674–701. <https://doi.org/10.3390/su1030674>
- Levantinadeparquets. (2018). *Pino silvestre* [Empresa]. Levantinadeparquets. <https://www.levantinadeparquets.com/madera/pino-silvestre/>

- Llerena Pillaca, W. L., & Paco Gomez, A. (2020). *Evaluación de las propiedades mecánicas de la madera laminada cruzada (CLT) mediante ensayos de resistencia para mejorar el comportamiento estructural de muros de madera elaborados con una especie de mediana densidad* [Grado, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas]. <http://hdl.handle.net/10757/652156>
- Lop, R. (2020, marzo 30). *MATERIALES Y HUELLA DE CARBONO: EL PAPEL DE LA MADERA PARA RETENER LAS EMISIONES DE CO2*. Madera21 de Corma. <https://www.madera21.cl/blog/2020/03/30/materiales-y-huella-de-carbono-el-papel-de-la-madera-para-retener-las-emisiones-de-co2/>
- Luna Altamirano, K. A., & Sarmiento Espinoza, H. W. (2019). Evaluación económica bajo el enfoque difuso: Caso industrias de la ciudad de Cuenca- Ecuador. *Revista Venezolana de Gerencia*, 24, 547–562.
- Lyonnet, J. (2022, julio 7). *Uruguay impulsa la construcción en madera para reducir sus emisiones* [Informativo]. Dialogo Chino. <https://dialogo-chino.net/es/infraestructura-es/55958-uruguay-impulsa-la-construccion-en-madera-para-reducir-sus-emisiones/>
- Madera21. (s/f). *POSADA JOSÉ IGNACIO*. <https://www.madera21.cl/blog/project-view/posada-jose-ignacio/>
- MAE. (2016). Sistema Nacional de Control Forestal.
- Mardiana, A., & Riffat, S. (2015). Building energy consumption and carbon dioxide emissions: Threat to climate change. *Journal of Earth Science & Climatic Change*, S3, 1.
- Mercado Cevallos, M. L. (2015). *Estudio de factibilidad para la producción de caña Guadua en el recinto de Rio Chico, cantón Paján de la provincia de Manabí y propuesta de plan de exportación para el mercado Chileno* [Grado, Universidad Politécnica Salesiana sede Guayaquil]. <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/7531>

- MIDUVI. (2015a). *Estructuras de Guadúa (GaK)*. (NEC–SE–GUADÚA). <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/documentos-normativos-nec-norma-ecuatoriana-de-la-construccion/>
- MIDUVI. (2015b). *Estructuras de Madera*. (NEC-SE-MD). <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/documentos-normativos-nec-norma-ecuatoriana-de-la-construccion/>
- Ministerio del Ambiente del Ecuador & Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2014). *Propiedades anatómicas, físicas y mecánicas de 93 especies forestales – Ecuador*. Ana Cristina Herdoíza. www.fao.org.ec
- Moncayo Galárraga, G. A. (2017). *Caracterización de las propiedades mecánicas de la madera de balsa (Ochroma Pyramidale) ecuatoriana* [Grado, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE]. <https://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/13244>
- Naranjo Rea, E., & Maldonado Narváez, L. (2022). Propuesta de disminución de huella de carbono para construcción de edificaciones. Caso de estudio: Edificio de Ciencias Básicas de la Universidad Técnica de Ambato, Ecuador. *Investigación y Desarrollo*, 15(1), 19–31. <https://doi.org/10.31243/id.v15.2022.1589>
- Nasli-Bakir, B., & Lindberg, S. (2017). *Sistema adhesivo que comprende resinas amínicas eterificadas* (Oficina Española de Patentes y Marcas Patent ES 2 266 175 T5).
- Navarrete-Hernández, P. (2016). De cartoneros a recicladores urbanos. El rol de las políticas locales en mejorar la sustentabilidad de los recolectores de base. *Investigaciones Regionales – Journal of Regional Research*, 35, 83–106.
- Norma Técnica Ecuatoriana. (2011). *Sistema de clasificación y calificación de madera aserrada proveniente de Bosques Húmedos Tropicales*. (NTE INEN 2580). <https://www.normalizacion.gob.ec/>

- Noticias UBB. (2020, abril 15). *Cinco pisos tendrá primer edificio 100% de CLT construido en Chile* [Institucional]. Noticias UBB. <http://noticias.ubiobio.cl/2020/04/15/cinco-pisos-tendra-primer-edificio-100-de-clt-construido-en-chile/>
- PADT REFORT/JUNAC. (1984). *Manual de Diseño de Madera de Grupo Andino* (Junta del Acuerdo de Cartagena).
- PADT REFORT/JUNAC. (1988). *Manual del Grupo Andino para la Preservación de Maderas*. Carvajal.
- Pardo Holtheuer, S., Gorrini Belmar, B., Peredo Morales, K., & Gonzales Vogel, A. (2022). *Un método para la producción de un adhesivo natural, libre de formaldehído para tableros de madera* (Organización Mundial de la Propiedad Intelectual Patent WO 2022/165613 AI). https://patentscope.wipo.int/search/pt/detail.jsf;jsessionid=C77059FA8CEA50BEE-C9E49EAF2D07727.wapp2nB?docId=WO2022165613&_gid=202232
- Parker, A., & Marcinko, J. (2017). *Adhesivos que contienen proteína, y fabricación y uso de los mismos* (Oficina Española de Patentes y Marcas Patent ES 2 619 849 T3).
- Patience, S., & Murphy, B. (2014). *Crosslam timber / CLT - A brief history* [Corporativo]. greenspec. <https://www.greenspec.co.uk/building-design/crosslam-timber-history-and-production/>
- Payne, W., Winward, A., & Judd, J. (2023). CYCLIC TESTS OF INTERLOCKING CROSS LAMINATED TIMBER SHEAR WALLS. *World Conference on Timber Engineering (WCTE 2023)*, 2111–2117. <https://doi.org/10.52202/069179-0280>
- Pelufó Meier, J. P. (2011). *Análisis de la energía incorporada de un edificio en altura en Uruguay* [Tesis de maestría, Universidade Do Rio Grande Do Sul]. <https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/105078>
- Prefectura del Guayas. (2023). *Guayas, Cantones* [Institucional]. Prefectura del Guayas. <https://guayas.gob.ec/cantones-2/>

- Reyes Jipa, J. G. (2021). *Aprovechamiento de los residuos forestales para la elaboración de productos con fines comerciales*.
- Roca, J. (2023, junio 8). *Las emisiones de CO2 aumentaron en España un 5,9 por ciento en 2021 y un 14% en lo que va de 2022* [Informativo]. el periodico de la energia. <https://elperiodicodelaenergia.com/emisiones-co2-espana-2021-2022/>
- Sabogal, C., & Casaza, J. (2010). *Standing tall: Exemplary cases of sustainable forest management in Latin America and the Caribbean*. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO).
- Sánchez Escobar, L. C. (2020). COMPARACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DEL BAMBÚ GUADUA ANGUSTIFOLIA KUNTH DE DIFERENTES MUNICIPIOS DE COLOMBIA. *Ciencia*, 22(1), 34. <https://doi.org/10.24133/ciencia.v22i1.1289>
- Sánchez-Machado, J. D., Muñoz, F., Moya, R., & Tenorio, C. (2021). *Propiedades físico-mecánicas de madera contralaminada CLT fabricados con Tectona grandis y Gmelina arborea, procedente de plantaciones forestales en Costa Rica*. 19(44), 29–39. <https://doi.org/10.18845/rfmk.v19i44.6099>
- Sanders, S. (2011). Behavior of Interlocking Cross-Laminated Timber Shear Walls. *Project, Brigham Young University, Brigham Young University*.
- Sanite. (2016). *Ficha técnica: PINO ROJO* [Empresa]. Sanite. Saneamiento de estructuras de madera. <https://diagnosisdelamadera.com/diagnos-de-la-madera-pino-rojo/>
- Santisteban, J. P. (2019). *Construcción con madera CLT en el estudio Waugh Thistleton Architects* [Blog]. Tectónica. <https://tectonica.archi/articles/construccion-con-madera-clt-en-el-estudio-waugh-thistleton-architects/>
- Sardinero, S. (2000). Classification and Ordination of Plant Communities along an Altitudinal Gradient on the Presidential Range, New Hampshi-

- re, USA. *Plant Ecology*, 148(1), 81–103. JSTOR.
- Schickhofer, G., Jöbstl, R. A., Moosbrugge, T., Traetta, G., & Jeitler, G. (2007). *Timber Massive Construction – View on R&D for an Innovative Design Principle using Cross Laminated Timber*. Seminar on Innovations in Wood Building Design, Vancouver.
- SEBASTIA CLT. (2021). *CATALOGO DE PANELES CLT*. <https://www.sebastia.eu/inicio-2/descargas/>
- SEBASTIA CLT. (2017). ConstrActive System. SEBASTIA. <https://www.sebastia.eu/green-construactive-system/>
- Silva Matos, D. M., Freckleton, R. P., & Watkinson, A. R. (1999). THE ROLE OF DENSITY DEPENDENCE IN THE POPULATION DYNAMICS OF A TROPICAL PALM. *Ecology*, 80(8), 2635–2650. [https://doi.org/10.1890/0012-9658\(1999\)080\[2635:TRODDI\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/0012-9658(1999)080[2635:TRODDI]2.0.CO;2)
- Sizirici, B., Fseha, Y., Cho, C.-S., Yildiz, I., & Byon, Y.-J. (2021). A Review of Carbon Footprint Reduction in Construction Industry, from Design to Operation. *Materials*, 14(20), 6094. <https://doi.org/10.3390/ma14206094>
- Smith, R. E. (2011). *Interlocking Cross-Laminated Timber: Alternative use of waste wood in design and construction*. BTES conference.
- Solano García, N. E. (2022). *Energía y emisiones de los materiales de construcción*. Proyecto CEELA.
- Sotomayor Castellanos, J. R., & Villaseñor Aguilar, J. M. (2016). Retention and absorption of boron salts solution of ten mexican woods. *Acta Universitaria*, 26(2), 12–19. <https://doi.org/10.15174/au.2016.835>
- Tapia, C., Zambrano Zambrano, E. E., & Monteros, A. (2008). *Estado de los recursos fitogenéticos para la agricultura y la alimentación en Ecuador: A mas uso, mas conservación*.
- Tapia Zúñiga, M. V., & Rezabala Salguero, C. J. (2021). *Aprovechamiento y usos potenciales de Guadua angustifolia Kunth en la parroquia Ayacucho, cantón Santa Ana* [Grado, Universidad Estatal Del Sur De Mana-

- bí]. <https://repositorio.unesum.edu.ec/handle/53000/3429>
- Torres Gordón, K. D. (2022). *Diseño de una línea de objetos para el hogar, en base a los desperdicios madereros en la empresa Stilmuebles para tener un mejor aprovechamiento de la materia prima* [BachelorThesis, PUCE - Quito]. <http://repositorio.puce.edu.ec:80/handle/22000/20716>
- UCSG. (s/f). *LABORATORIOS Y CENTROS DE INVESTIGACIÓN* [Institucional]. Universidad Católica Santiago de Guayaquil. <https://www.ucsg.edu.ec/institutos/institutos-ihadic/labs/>
- Universidad Estatal del Sur de Manabi, Indacochea Ganchozo, B. S., Gabriel Ortega, J. L., Parrales Villacreses, J. C., Álvarez Indacochea, B. V., & Orlando Indacochea, N. F. (2019). *EL LAUREL [CORDIA ALLIODORA (RUIZ & PAV) OKEN]: ESPECIE ESTRATÉGICA PARA LA MICROREGIÓN DEL SUR DE MANABÍ* (1a ed.). MAWIL. <https://doi.org/10.26820/978-9942-787-97-2>
- Vaca de Fuentes, R. B. (1998). *TECNICAS PARA LA PRESERVACION DE MADERAS*. Proyecto de Manejo Forestal Sostenible BOLFOR.
- Verma, C. S., & Chariar, V. M. (2012). Development of layered laminate bamboo composite and their mechanical properties. *Composites Part B: Engineering*, 43(3), 1063–1069. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2011.11.065>
- Vinueza, M. (2012a, julio 9). *Ficha Técnica No 1: TECA* [Institucional]. ecuadorforestal. <https://ecuadorforestal.org/fichas-tecnicas-de-especies-forestales/ficha-tecnica-no-1-teca/>
- Vinueza, M. (2012b, julio 16). *Ficha Técnica N° 2: PACHACO*. <https://ecuadorforestal.org/fichas-tecnicas-de-especies-forestales/ficha-tecnica-n-2-pachaco/>
- Vinueza, M. (2012c, agosto 2). *Ficha Técnica No 4: LAUREL* [Institucional]. ecuadorforestal. <https://ecuadorforestal.org/fichas-tecnicas-de-especies-forestales/ficha-tecnica-no-4-laurel/>

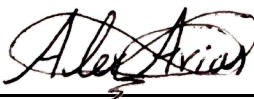
- Vinueza, M. (2012d, agosto 15). *Ficha Técnica No 5: CEDRO* [Institucional]. ecuadorforestal. <https://ecuadorforestal.org/fichas-tecnicas-de-especies-forestales/ficha-tecnica-no-5-cedro/>
- Vinueza, M. (2012e, septiembre 25). *Ficha Técnica No 7: BALSA* [Institucional]. ecuadorforestal. <https://ecuadorforestal.org/fichas-tecnicas-de-especies-forestales/ficha-tecnica-no-7-balsa/>
- Vinueza, M. (2012f, octubre 4). *Ficha Técnica No 8: FERNÁN SÁNCHEZ* [Institucional]. ecuadorforestal. <https://ecuadorforestal.org/noticias-y-eventos/ficha-tecnica-no-8-fernan-sanchez/>
- Wang, Z., & Yin, T. (2022). Cross-Laminated Timber: A Review on Its Characteristics and an Introduction to Chinese Practices. En M. Gong (Ed.), *Engineered Wood Products for Construction*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.98956>
- Wilson, D. E. (2012). *Structural Properties of ICLT Wall Panels Composed of Beetle Killed Wood*. Brigham Young University.
- Zúñiga, D. (2019, noviembre 13). *POLOMADERA MUESTRA LAS VENTAJAS DE LA MADERA CON LA CONSTRUCCIÓN DE UN EDIFICIO DE OCHO PISOS EN CLT* [Institucional]. Madera21 de Corma. <https://www.madera21.cl/blog/2019/11/13/polomadera-muestra-las-ventajas-de-la-madera-con-la-construccion-de-un-edificio-de-ocho-pisos-en-clt/>

DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, Arias Zalamea, Alez Eduardo, con C.C: 0953650066 autor/a del trabajo de titulación: **Paneles de madera contralaminada CLT con maderas residuales de la provincia del Guayas** previo a la obtención del título de Arquitecto en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

- 1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.
- 2.- Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Guayaquil, 08 de septiembre del 2023

f. 
Nombre: Arias Zalamea, Alez Eduardo
C.C: 0953650066

DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, Mantilla Avalos, Pedro Andres, con C.C: 0950769414 autor/a del trabajo de titulación: **Paneles de madera contralaminada CLT con maderas residuales de la provincia del Guayas** previo a la obtención del título de Arquitecto en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Guayaquil, 08 de septiembre del 2023



f. _____

Nombre: Mantilla Avalos, Pedro Andres

C.C: 0950769414

DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, Veintimilla Muñoz, Daniel Alejandro, con C.C: 1751072958 autor/a del trabajo de titulación: **Paneles de madera contralaminada CLT con maderas residuales de la provincia del Guayas** previo a la obtención del título de Arquitecto en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Guayaquil, 08 de septiembre del 2023

f. 

Nombre: Veintimilla Muñoz, Daniel Alejandro
C.C: 1751072958

REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN

TEMA Y SUBTEMA:	Paneles de madera contralaminada CLT con maderas residuales de la provincia del Guayas		
AUTOR(ES)	Mantilla Avalos, Pedro Andrés; Veintimilla Muñoz, Daniel Alejandro; Arias Zalamea, Alex Eduardo		
REVISOR(ES)/TUTOR(ES)	Arq. Vega Jaramillo, Robinson Danilo, Mgs; Arq. Forero Fuentes, Boris Andrei, Mgs; Arq. Bamba Vicente, Juan Carlos, PhD; Arq. Viteri Chávez, Filiberto José, M.Sc; Arq. Naranjo Ramos, Yelitza Gianella; PhD.		
INSTITUCIÓN:	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
FACULTAD:	Facultad de Arquitectura y Diseño		
CARRERA:	Arquitectura		
TITULO OBTENIDO:	Arquitecto		
FECHA DE PUBLICACIÓN:	08 de septiembre del 2023	No. DE PÁGINAS:	190
ÁREAS TEMÁTICAS:	Sistemas constructivos, eco materiales		
PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:	Materia prima, CLT, residuo, maderas, resistencia, paneles		

RESUMEN/ABSTRACT (150-250 palabras): La presente investigación corresponde a la construcción de un panel de madera contra-laminada (CLT) cuyas propiedades mecánicas se asemejen a los paneles de CLT utilizados en otras partes del mundo como un material estructural. Por lo que, el material a emplear debe cumplir con tres requisitos; el primero, las maderas a utilizarse deben cumplir con cierto grado de resistencia estructural. El segundo requisito, que las condiciones industriales y la oferta del material existan dentro del entorno. Y como tercer requisito, que las maderas a utilizarse sean de carácter de residuo y no se encuentren catalogadas como especies en peligro. Todo esto con la finalidad de buscar una alternativa de componentes constructivos, utilizando como materia prima los residuos de madera que se consumen en la provincia del Guayas. Permitiendo un mejor aprovechamiento del potencial forestal de la provincia, haciendo a este sector más sostenible. Para obtener la materia prima se realiza un levantamiento de información en aserraderos del país y se utilizan los residuos de tres especies maderables. Todas estas se encuentran dentro del rango de maderas duras y semiduras. Posteriormente, se elaboran muestras y probetas de CLT para determinar las propiedades mecánicas de resistencia a esfuerzos de compresión y flexión. Los procedimientos son realizados bajo la normativa de madera contra laminada como UNE-EN 16351, UNE-EN 408 y ASTM D198 de madera.

ADJUNTO PDF:	SI: <input checked="" type="checkbox"/>	NO:
CONTACTO CON AUTOR/ ES:	Teléfono: +593990681556 +593997219091 +593982159324	E-mail: pedro.andres099@gmail.com veinteh@gmail.com alex-ariasz@hotmail.com
CONTACTO CON LA INS- TITUCIÓN (COORDINADOR DEL PROCESO UTE):::	Nombre: SANDOYA LARA, RICARDO ANDRES	
	Teléfono:+593996608225	
	E-mail: titulacion.arq@cu.ucsg.edu.ec	

SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA

No. DE REGISTRO (en base a datos):	
No. DE CLASIFICACIÓN:	
DIRECCIÓN URL (tesis en la web):	