



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES CARRERA DE INGENIERÍA FORESTAL

**Trabajo de titulación presentado como requisito previo
a la obtención del título de Ingeniero Forestal**

**CARACTERIZACIÓN DEL PANEL TERMO-AISLANTE A BASE DE BIOMASA DE
CORTEZA DE *Eucalyptus globulus* Labill EN NOVOPAN DEL ECUADOR S.A.**

AUTOR

Alexander Ismael Del Castillo Valenzuela

DIRECTOR

Ing. Juan Carlos García Montoya, PhD.

IBARRA – ECUADOR

2019

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS
AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES
CARRERA DE INGENIERÍA FORESTAL

CARACTERIZACIÓN DEL PANEL TERMO-AISLANTE A BASE DE BIOMASA DE CORTEZA DE *Eucalyptus globulus* Labill EN NOVOPAN DEL ECUADOR S.A.

Trabajo de titulación revisado por el Comité Asesor, por lo cual se autoriza la presentación como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO FORESTAL

APROBADO

Ing. Juan Carlos García Montoya, PhD.

Director de trabajo de titulación



Ing. María Cristina Echeverría de Labastida, PhD.

Tribunal de trabajo de titulación



Ing. María Isabel Vizcaíno Pantoja, Esp.

Tribunal de trabajo de titulación



Ing. Jorge Luis Cué, PhD.

Tribunal de trabajo de titulación



Ibarra – Ecuador

2019



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la ley de Eucación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO		
Cédula de ciudadanía:	100325389-3	
Nombres y apellidos:	Alexander Ismael Del Castillo Valenzuela	
Dirección:	Av. Galo Plaza y Esther Castellón Condominio Berlín	
Email:	alexander.valenzuela89@hotmail.com	
Teléfono fijo:	062517881	Teléfono 0987284094

DATOS DE LA OBRA	
Título:	CARACTERIZACIÓN DEL PANEL TERMO-AISLANTE A BASE DE BIOMASA DE CORTEZA DE <i>Eucalyptus globulus</i> Labill EN NOVOPAN DEL ECUADOR S.A.
Autor:	Alexander Ismael Del Castillo Valenzuela
Fecha:	01 de julio de 2019
SOLO PARA TRABAJOS DE TITULACIÓN	
Programa:	Pregrado
Título por el que opta:	Ingeniero Forestal
Director:	Ing. Juan Carlos García Montoya, PhD.

2. CONSTANCIA

El autor (es) manifiesta (n) que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló sin violar derechos de autor de terceros; por lo tanto, la obra es original y que es (son) el titular (es) de los derechos patrimoniales, por lo que asume (n) la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá (n) en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, 01 de julio de 2019

EL AUTOR:



.....

Alexander Ismael Del Castillo Valenzuela

C.C.: 100325389-3

Ibarra, a los 01 días del mes de julio del 2019

REGISTRO BIBLIOGRÁFICO

Guía: FICAYA - UTN

Fecha: 01 de julio de 2019

Alexander Ismael Del Castillo Valenzuela **CARACTERIZACIÓN DEL PANEL TERMO-AISLANTE A BASE DE BIOMASA DE CORTEZA DE *Eucalyptus globulus* Labill EN NOVOPAN DEL ECUADOR S.A;** Trabajo de titulación. Ingeniero Forestal. Universidad Técnica del Norte. Carrera de Ingeniería Forestal. Ibarra, 01 de julio de 2019.

DIRECTOR: Ing. Juan Carlos García Montoya, PhD.

El objetivo principal de la presente investigación fue: Caracterizar un panel termo-aislante a base de biomasa de corteza de *Eucalyptus globulus* **Labill** en Novopan del Ecuador S.A.

Fecha: 01 de julio de 2019



Ing. Juan Carlos García Montoya, PhD.

Director de trabajo de titulación



Alexander Ismael Del Castillo Valenzuela

Autor

DEDICATORIA

Esta investigación va dedicada a:

Ciertamente escribir una dedicatoria no es fácil, sobre todo cuando no se tiene la facilidad de plasmar las ideas en palabras, no obstante, cuando los sentimientos fluyen hacia las personas esa dificultad se desvanece.

Es por ello por lo que este logro el primero de muchos lo dedico a Ángel Sergio Coronado Vinuesa, quien guio mis pasos y fue mi ejemplo a seguir, mi héroe eterno, que aún desde las alturas, me protege e ilumina mis pasos. Donde sea que te encuentres sé que estas orgulloso y feliz por mí.

A mi mejor amiga, compañera, a mi amada Carlita, que representa el pilar fundamental de mis días, gracias por aguantar todo este tiempo y estar conmigo en los momentos difíciles, alegres, tristes, emocionantes y por estar siempre apoyándome, de nuevo gracias, te amo.

"No es tan importante la cantidad de años vividos, sino la calidad e intensidad de estos" González, 2000.

AGRADECIMIENTO

Agradezco por sobre todas las cosas a Dios, por permitir realizar mis sueños, por iluminar mi camino con su luz, por brindarme en la vida grandes oportunidades y alentarme en los momentos más duros.

A mi director y asesores, grandes personas y sobre todo amigos, quienes han sido un gran soporte en esta etapa final de mi vida universitaria, sabiendo comprender mis errores, teniendo siempre la mejor disposición y voluntad para apoyarme con sus experiencias y conocimientos.

A todos aquellos profesionales de la empresa Novopan del Ecuador S.A; que me brindaron su máxima colaboración otorgándome espacios de su tiempo, para que esta investigación resultara exitosa.

INDICE DE CONTENIDO

PORTADA	ii
AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN	iii
REGISTRO BIBLIOGRÁFICO	v
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTO.....	vii
INDICE DE CONTENIDO	viii
INDICE DE TABLAS	xii
INDICE DE FIGURAS	xii
INDICE DE ANEXOS.....	xviii
ABREVIATURAS.....	xx
RESUMEN	xxi
ABSTRACT	xxii
CAPÍTULO I.....	1
INTRODUCCIÓN	1
1.1 Objetivos.....	3
1.1.1 Objetivo General	3
1.1.2 Objetivos Específicos	3
1.2 Hipótesis	3
CAPÍTULO II	4
MARCO TEÓRICO	4
2.1 Fundamentación legal.....	4
2.1.1 Ley Forestal.....	4
2.1.2 Código Orgánico Ambiental	4
2.1.3 Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021 Toda una Vida de Ecuador.....	6
2.1.4 Línea de investigación	6
2.2 Fundamentación teórica	6

2.2.1	Biomasa	6
2.2.1.1	Composición de la biomasa	6
2.2.1.2	Clasificación de la biomasa.....	7
2.2.1.3	Atlas Bioenergética Ecuatoriano	7
2.2.1.3	Biomasa como alternativa sustentable	9
2.2.2	Aplicaciones de la biomasa.....	9
2.2.3	Caracterización de la Biomasa	10
2.2.3.1	Parámetros Físicos.....	10
2.2.3.2	Parámetros Químicos.....	11
2.2.4	Propiedades mecánicas de la madera.....	13
2.2.4.1	Distribución granulométrica	13
2.2.4.2	Tracción de madera	13
2.2.4.3	Flexión	14
2.2.4.4	Corte de elementos	14
2.2.4.5	Expansión máxima	14
2.2.4.6	Agarre de tornillo mínimo	15
2.2.5	Aislante térmico	15
2.2.5.1	Aislantes térmicos naturales.....	15
2.2.5.2	Características térmicas básicas de los aislantes	18
2.2.6	Aislante acústico.....	20
2.2.6.1	Tipos de materiales en cuanto a su absorción	20
2.2.7	Normativas	20
2.2.7.1	Normas ASTM	21
2.2.7.2	Normas EN.....	21
2.2.7.3	Legislación Ecuatoriana - del Ministerio del Ambiente	21
CAPÍTULO III.....		22
MATERIALES Y MÉTODOS		22
3.1	Ubicación del sitio	22
3.1.1	Política	22
3.1.2	Geográfica.....	22

3.1.3	Límites	22
3.2	Datos climáticos	22
3.3	Equipos, materiales y sustancias	23
3.4.1	Analizar la corteza de Eucalyptus globulus Labill	25
3.4.1.1	Porcentaje de corteza existente en el fuste.....	25
3.4.1.2	Recolección de muestras.....	26
3.4.1.3	Caracterización de la biomasa residual.....	26
3.4.1.4	Parámetros Físicos.....	26
3.4.1.5	Parámetros Químicos.....	28
3.4.1.6	Parámetros Energéticos.....	28
3.4.2	Elaboración del prototipo panel termo-aislante	29
3.4.2.1	Secado de la materia prima	29
3.4.2.2	Triturado y selección de materia prima	29
3.4.2.3	Selección de adhesivo y mezcla	30
3.4.2.4	Prensado.....	30
3.4.2.6	Proceso de desmolde	31
3.4.3	Evaluar las propiedades del panel termo-aislante	31
3.4.3.1	Ensayos físicos	31
3.4.3.2	Ensayos mecánicos	32
3.4.3.3	Ensayos térmicos	35
3.4.3.4	Ensayo Acústico	35
CAPITULO IV		36
RESULTADOS Y DISCUSION		36
4.1	Caracterización de la corteza de Eucalyptus globulus Labill	36
4.1.1	Porcentaje de corteza existente en el fuste.....	36
4.1.2	Recolección de muestras.....	37
4.1.3	Proceso de Secado	38
4.1.4	Caracterización de la biomasa residual.....	38
4.1.4.1	Parámetros Físicos.....	38
4.1.4.2	Parámetros Químicos.....	39

4.1.4.3	Parámetros Energéticos.....	40
4.2	Elaboración del prototipo panel termo-aislante	41
4.3	Evaluación de las propiedades del panel termo-aislante	41
4.3.1	Ensayos físicos	42
4.3.1.1	Análisis granulométrico	42
4.3.1.2	Densidad	43
4.3.2	Ensayos mecánicos	43
4.3.3	Ensayos térmicos.....	45
4.3.3.1	Comportamiento frente al fuego	45
4.3.3.2	Conductividad, resistencia y transmitancia térmica	46
CAPITULO V		48
CONCLUSIONES.....		48
CAPITULO VI.....		49
RECOMENDACIONES		49
CAPITULO VII		50
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS		50
CAPITULO VIII.....		55
ANEXOS		55
8.1	Anexo A. Mapa base Patio de residuos Planta Industrial Novopan S.A.	55
8.2	Anexo B. Hoja de laboratorio	56
8.3	Anexo C. Costos de elaboración de prototipo del panel	57
8.4	Anexo D. Costos materiales tradicionales de construcción.....	57
8.5	Anexo E. Fotografías.....	59

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Características físicas biomasa primaria	8
Tabla 2. Características físicas biomasa secundaria	8
Tabla 3. Intervalos de humedad	11
Tabla 4. Clasificación por abertura del tamiz	13
Tabla 5. Conductividad y resistencia térmica de los aislantes.....	19
Tabla 6. Cuadro de actividades y equipos	23
Tabla 7. Rango de clasificación	26
Tabla 8. Porcentaje de dosificación	30
Tabla 9. Ciclo de prensado	30
Tabla 10. Porcentaje en masa / desviación estándar de la medición.....	39
Tablas 11. Ensayos mecánicos.....	44

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Proceso de elaboración del panel	29
Figura 2. Porcentaje de corteza.....	37
Figura 3. Clasificación de corteza.....	37
Figura 4. Análisis dTGA	40
Figura 5. Vista frontal prototipo panel.....	41
Figura 6. Vista lateral prototipo panel.....	41
Figura 7. Porcentaje de peso retenido de corteza.....	42
Figura 8. Densidad del panel	43
Figura 9. Análisis clúster	45
Figura 10. Comportamiento frente al fuego (Tiempos)	45
Figura 11. Temperatura interna paneles	46
Figura 12. Curva dBa	47

INDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Densidad real	11
Ecuación 2. Densidad aparente	11
Ecuación 3. Contracción tagencial	15
Ecuación 4. Expansion tangencial	15
Ecuación 5. Volumen de corteza.....	26
Ecuación 6. Porcentaje de corteza.....	26
Ecuación 7. Densidad de la madera	28
Ecuación 8. Porcentaje de humedad.....	29
Ecuación 9. Análisis elemental	29
Ecuación 10. Densidad	33
Ecuación 11. Tracción cara interna (CI).....	34
Ecuación 12. Volumen para la flexión	34
Ecuación 13. Flexión (1)	35
Ecuación 14. Flexión (2)	35
Ecuación 15. Porcentaje de expansión	36

INDICE DE ANEXOS

Anexo A. Mapa base Patio de residuos Planta Industrial Novopan S.A.	55
Anexo B. Hoja de laboratorio.....	56
Anexo C. Costos de elaboración de prototipo del panel.....	57
Tabla 1. Costo unitario elaboración del prototipo.....	57
Tabla 2. Costo unitario 1.20 m ² a la veta del panel.....	57
Anexo D. Costos materiales tradicionales de construcción	57
Tabla 1. Costo unitario m ² ladrillo	57
Tabla 2. Costo unitario m ² bloque	57
Tabla 3. Costos de aislantes térmicos tradicionales m ²	58
Anexo E. Fotografías	59

Ilustración 1. Clasificación de la corteza de Eucalyptus	59
Ilustración 2. Secado de la corteza de Eucalyptus.....	59
Ilustración 3. Triturado de la corteza de Eucalyptus	59
Ilustración 4. Caracterización de la corteza de Eucalyptus.....	59
Ilustración 5. Análisis granulométrico.....	60
Ilustración 6. Mezcla de ingredientes para elaboración de panel.....	60
Ilustración 7. Mezcla de ingredientes para elaboración de panel.....	60
Ilustración 8. Prensado de panel.....	60
Ilustración 9. Fraguado del panel	61
Ilustración 10. Desmolde	61
Ilustración 11. Panel Termo-acústico	61
Ilustración 12. Dimensionado de probetas.....	61
Ilustración 13. Ensayo de flexión	61
Ilustración 14. Ensayo de lijado	61
Ilustración 15. Ensayo de tornillo.....	62
Ilustración 16. Ensayo de tracción.....	62
Ilustración 17. Ensayo de expansión	62
Ilustración 18. Ensayo acústico	62
Ilustración 19. Ensayo de fuego	62
Ilustración 20. Ensayo térmico.....	62

ABREVIATURAS

ACV – Análisis de Ciclo de Vida

ASTM – International (American Society for Testing and Materials)

°C - Grados centígrados

C – Carbono

Chip – Pequeños trozos de madera

CLT – Madera laminada cruzada

Cp – Densidad

D aparente – Densidad aparente

D real – Densidad real

D3 PVA – Cola Blanca

dBa – Decibeles acústicos

H – Hidrógeno

h – Humedad

INEN – Instituto Nacional de Normalización Ecuatoriano

K – Potasio

Kg – Kilogramo

MDP RH – Tablero de fibra de densidad de partículas, resistente a la humedad

MDP – Tablero de fibra de densidad de partículas

MUF – Melamina Urea Formaldehído

N – Nitrógeno

O – Oxígeno

OSB – Tableros de fibras orientadas

P – Fósforo

r – Resistencia

S – Azufre

SPF – Sistema de Producción Forestal

seg – Segundo

Ton – Tonelada

UCE – Universidad Central Ecuador

W – Vatios

TITULO: CARACTERIZACIÓN DEL PANEL TERMO-AISLANTE A BASE DE BIOMASA DE CORTEZA DE *Eucalyptus globulus* **Labill** EN NOVOPAN DEL ECUADOR S.A.

Autor: Alexander Ismael Del Castillo Valenzuela

Director de trabajo de titulación: Juan Carlos García Montoya, PhD.

Año: 2019

RESUMEN

En el escenario mundial el uso de plástico y derivados del petróleo dominan el mercado de los materiales para múltiples usos. La organización Forest Trends menciona a la madera de ingeniería como una de las oportunidades crecientes en el mercado de productos y usos de residuos forestales. Uno de los mayores problemas ambientales que enfrenta Ecuador es el manejo de los residuos industriales forestales, es así que en los últimos cinco años se utilizó alrededor de dos millones de metros cúbicos de *Eucalyptus globulus* **Labill**, generando así una biomasa residual. El objetivo del presente estudio fue caracterizar un prototipo de panel a base de corteza de *Eucalyptus globulus* **Labill**, que reemplace a los aislantes polivalentes como (lana de vidrio, corcho, poliuretano, etc.), por aislantes compuestos que cumplan específicamente con algunos de los requerimientos dentro de la construcción sostenible como (estabilidad estructural, resistencia, aislamiento termo acústico, etc.). Para la elaboración del panel, se secó y trituró corteza de *Eucalyptus*, posteriormente se mezcló con la resina Melamina Urea Formaldehído (MUF), parafina y catalizador sometido a una prensa caliente entre 150°C y 180°C. Se obtuvo prototipos de espesores de 3.6 y 5.0 cm, con densidades entre de 670 y 725 kg/m³ respectivamente, según las normas INEN se clasifica como tipo B, presentando características organolépticas como, color café claro amarillento, brillo medio alto, textura muy gruesa, olor fragante a *Eucalyptus*. Los prototipos son de densidad media alta, resistentes a la humedad que podrían formar parte de la estrategia que fomenta la sustitución de materiales polivalentes por materiales compuestos de altísimo rendimiento frente a la función encomendada. La lógica viene apoyada por la necesidad de reducir al máximo el uso de aislantes polivalentes que afectan a la salud de las personas.

Palabras clave: Biomasa, *Eucalyptus globulus* **Labill**, densidad, panel.

TITLE: CHARACTERIZATION OF A THERMAL-INSULATING PANEL BASED ON CORTEX BIOMASS OF *Eucalyptus globulus* **Labill** IN NOVOPAN DEL ECUADOR S.A.

Author: Alexander Ismael Del Castillo Valenzuela

Director of thesis: Juan Carlos García Montoya, PhD.

Year: 2019

ABSTRACT

In the world scenario, the use of plastic and petroleum derivatives dominate the market of materials for multiple uses. The Forest Trends organization mentions engineering wood as one of the growing opportunities in the market for forest waste products / uses. One of the biggest environmental problems that Ecuador faces is the management of industrial forest residues, so that in the last five years, two million cubic meters of *Eucalyptus globulus* **Labill** were used, thus generating a residual biomass. The objective of the present study was to characterize a prototype of panels with *Eucalyptus globulus* **Labill** biomass, which replaces the traditional thick walls (earth, stone, brick, etc.), by heterogeneous walls that comply specifically with some of the wall requirements (stability, resistance, thermo acoustic insulation, etc.). For the elaboration of the panels, the bark was dried and crushed, later it was mixed with the resin Melamine Urea Formaldehyde (MUF), paraffin and catalyst subjected to a hot press between 150°C and 180°C. Was obtained prototypes of thicknesses of 3.6 and 5 cm, with densities between 670 and 725 kg / m³ respectively, according to INEN are classified as type B, presenting organoleptic characteristics such as, light yellowish brown color, medium high gloss, very thick texture, odor fragrant to eucalyptus. The prototypes are of medium high density, resistant to moisture that could be part of the strategy that encourages the replacement of polyvalent materials by high performance composite materials compared to the function entrusted. The logic is supported by the need to minimize the use of multipurpose insulation that affect people's health.

Keywords: Biomass, *Eucalyptus globulus* **Labill**, density, panels.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Las fuentes de biomasa del sector forestal e industria maderera del Ecuador, generan 206.519 ton/año de residuos (INER, 2014), los residuos de bosques cultivados como el *Eucalyptus globulus* **Labill** vienen a ser una importante fuente de biomasa que actualmente son poco explotados y generalmente descartadas en el área de cultivo como desechos en especial la corteza de *Eucalyptus*, lo que conlleva a la evaluación de los posibles usos de está biomasa residual a partir de material lignocelulósico (Ecuador Forestal, 2007). Los residuos de la explotación forestal, por ejemplo, la corteza puede transformarse en materia prima que reemplace a la madera (Sánchez & Pablote, 1991). Las alteraciones más importantes que se producen al incorporar corteza, reemplazando a la madera, están relacionadas con la estructura anatómica y la composición química del material heterogéneo de alta complejidad (Goldsack L, 2007).

La cantidad de corteza en el fuste varía apreciablemente con el tamaño de las trozas en general, al aumentar el diámetro del fuste la proporción de corteza se reduce en promedio un 9.3% del volumen de corteza (Geldres et al., 2006). Las propiedades de la corteza presentan amplias variaciones entre árboles y entre especies; caso de la corteza de *Eucalyptus* presenta características organolépticas y características físico – mecánicas adecuadas para la fabricación de paneles de biomasa residual (Prado & Barros, 1989). En un estudio con madera y corteza de *Sequoia sempervirens* propone que, al aumentar el contenido de corteza se provoca una reducción de las propiedades mecánicas y de la estabilidad dimensional de los tableros (Claude et al., 2008). Otros autores indican que la flexión disminuye proporcionalmente con el aumento de la corteza en la capa media de los tableros de partículas las mayores pérdidas de resistencia se registran en el ensayo de tracción (Sánchez & Pablote, 1991).

Un estudio realizado por Architecture and Design, publicado en el Journal of Sustainable Forestry revela que la madera laminada cruzada (CLT), es casi tan fuerte como el acero, retienen su resistencia estática y su forma indefinidamente, permiten la transferencia de cargas por todos lados (Apa, 2015). Los productos de madera de ingeniería, incluyendo la madera contrachapada, OSB, vigas laminadas, vigas, madera estructural compuesta, CLT y otros tipos de paneles, son

elaborados a partir de especies de madera de rápido crecimiento que crecen en plantaciones (Palacios et al., 2018).

En el territorio nacional existen alrededor de 409`927.40 m³ de *Eucalyptus globulus* **Labill** aprovechados en el 2018 (MAG, 2018). Las plantaciones forestales principalmente de *Pinus radiata* y especies del género *Eucalyptus*, abarcan una superficie cercana a los 2.1 millones de hectáreas equivalentes al 2.8% de la superficie del territorio nacional (MAG, 2016).

En la actualidad los productos utilizados como aislantes para la construcción habitacional siguen siendo materiales polivalentes, por ejemplo los paneles que utilizan materiales de origen mineral y sintéticos, como por ejemplo: lana de vidrio, lana mineral, espuma de poliuretano y roca de yeso los cuales en su Análisis de Ciclo de Vida (ACV), tanto en sus procesos de producción, utilización y desecho contamina al ambiente y un consumo considerable de energía de producción, con el consecuente alto costo ecológico (Ubidia, 2010).

Algunos de los materiales denominados de construcción alternativa son sistemas que se basan en el concepto de “prefabricación” de partes y piezas estructurales para la vivienda, permitiendo tener mucha eficiencia en la mano de obra (Lacedelli, 2016). Permitiendo edificaciones con un balance positivo de CO₂ sobre la construcción, por lo tanto, se genera un trabajo positivo en materia de sustentabilidad (Palacios et al., 2018).

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo General

Caracterizar un panel termo-aislante a base de biomasa de corteza de *Eucalyptus globulus* **Labill** en Novopan del Ecuador S.A.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Analizar la corteza de *Eucalyptus globulus* **Labill**, como materia prima para de la fabricación de paneles.
- Elaboración del prototipo panel termo-aislante a base de biomasa de corteza de *Eucalyptus globulus* **Labill**.
- Evaluar las propiedades físicas, mecánicas y termo - acústicas del panel termo-aislante para su aplicación en la construcción alternativa.

1.2 Hipótesis

- **Ho:** Las características de un panel termo-aislante a base de biomasa residual corteza de *Eucalyptus globulus* **Labill**, cumple con especificaciones de construcción.
- **Ha:** Las características de un panel termo-aislante a base de biomasa residual corteza de *Eucalyptus globulus* **Labill**, no cumple con especificaciones de construcción.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Fundamentación legal

El presente estudio se enmarca en la ley forestal, capítulo VI De la Producción y Aprovechamiento Forestales Capítulo XI De las industrias forestales, Art. 41, 42 y 63.

2.1.1 Ley Forestal

Art. 41.- El aprovechamiento en escala comercial de productos forestales diferentes a la madera, tales como resinas, cortezas, y otros, se realizará mediante autorización del Ministerio del Ambiente.

Art. 42.- El Ministerio del Ambiente fijará precios de referencia de la madera que se utilice como materia prima según las especies y calidades.

Art. 63.- La instalación y funcionamiento de los aserraderos e industrias que utilicen madera o cualquier otro producto forestal diferente de la madera como materia prima, se sujetarán a las disposiciones de esta Ley en lo que a utilización de recursos forestales se refiere (MAE, 2004).

2.1.2 Código Orgánico Ambiental

CAPITULO III

GESTION INTEGRAL DE RESIDUOS Y DESECHOS PELIGROSOS Y ESPECIALES

TITULO VI

PRODUCCION Y CONSUMO SUSTENTABLE

Art. 243.- Objeto. La Autoridad Ambiental Nacional impulsará y fomentará nuevos patrones de producción y consumo de bienes y servicios con responsabilidad ambiental y social, para garantizar el buen vivir y reducir la huella ecológica. El cumplimiento de la norma ambiental y la producción más limpia serán reconocidos por la Autoridad Ambiental Nacional mediante la emisión y entrega de certificaciones o sellos verdes, los mismos que se guiarán por un proceso de evaluación, seguimiento y monitoreo.

Art. 244.- Medidas preventivas. Las instituciones del Estado adoptarán las medidas y acciones preventivas necesarias fundamentadas en el uso de tecnologías limpias, considerando el ciclo de vida del producto y el fomento de hábitos de producción y consumo sustentable de la población. Se generarán buenas prácticas ambientales en las instalaciones.

Art. 245.- Obligaciones generales para la producción más limpia y el consumo sustentable. Todas las instituciones del Estado y las personas naturales o jurídicas, están obligadas según corresponda, a:

1. Incorporar en sus propias estructuras y planes, programas, proyectos y actividades, la normativa y principios generales relacionados con la prevención de la contaminación, establecidas en este Código;
2. Optimizar el aprovechamiento sustentable de materias primas;
3. Fomentar y propender la optimización y eficiencia energética, así como el aprovechamiento de energías renovables;
4. Prevenir y minimizar la generación de cargas contaminantes al ambiente, considerando el ciclo de vida del producto;
5. Fomentar procesos de mejoramiento continuo que disminuyan emisiones;
6. Promover con las entidades competentes el acceso a la educación para el consumo sustentable;
7. Promover el acceso a la información sobre productos y servicios en base a criterios sociales, ambientales y económicos para la producción más limpia y consumo sustentable;
8. Coordinar mecanismos que faciliten la transferencia de tecnología para la producción más limpia;
9. Minimizar y aprovechar los desechos; y,
10. Otros que la Autoridad Ambiental Nacional dicte para el efecto.

Art. 246.- Compras públicas sustentables. La Autoridad Ambiental Nacional, en coordinación con la entidad rectora de compras públicas y demás autoridades competentes, deberá armonizar e implementar criterios ambientales en los procedimientos de compras públicas, con el fin de fomentar la transacción de bienes, servicios y obras enmarcadas en el desarrollo sostenible, así como los mecanismos que permitan la protección de la naturaleza.

2.1.3 Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021 Toda una Vida de Ecuador

Objetivo 3. Garantizar los derechos de la naturaleza para las actuales y futuras generaciones.

Política o lineamiento 3.7 Incentivar la producción y consumo ambientalmente responsable, con base en los principios de la economía circular y bio-economía, fomentando el reciclaje y combatiendo la obsolescencia programada (Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo [SENPLADES], 2017, p. 66).

2.1.4 Línea de investigación

El estudio se enmarca en la línea de investigación de la carrera: Desarrollo agropecuario y forestal sostenible.

2.2 Fundamentación teórica

2.2.1 Biomasa

El término biomasa se refiere a toda la materia orgánica que proviene de plantas, árboles y desechos de animales que pueden ser convertidos en energía; los provenientes de la agricultura son residuos de maíz, café, arroz, del aserradero son podas, ramas, aserrín, cortezas y de los residuos urbanos son aguas negras, basura orgánica y otros (Opex, 2018). Los avances tecnológicos han permitido el desarrollo de procesos más eficientes y limpios para la conversión de biomasa en energía (Abreu, 2016).

2.2.1.1 Composición de la biomasa

La biomasa según Barroso (2010), puede contener en su composición las siguientes estructuras:

- *Celulosa:* es un homopolímero lineal de elevado peso molecular y de grado de polimerización, tiene una estructura fibrosa resistente a la tracción mecánica.
- *Hemicelulosa:* son heteropolisacáridos (polisacárido compuesto por más de un tipo de monómero) que forman cadenas ramificadas de menor grado de polimerización que la celulosa, componente de las paredes celulares y brinda rigidez a la estructura vegetal.

- *Lignina*: es un polímero ramificado, mantiene unidos a la celulosa y hemicelulosa, proporciona rigidez a la pared celular.

2.2.1.2 Clasificación de la biomasa

La biomasa se puede clasificar según su origen:

a) Biomasa natural:

Producida en forma espontánea en los ecosistemas naturales, por ejemplo, bosques (IDAE, 2007).

b) Biomasa residual:

Son los subproductos derivados de las actividades agrícolas, ganaderas, humanas y forestales. Pueden ser:

- *Biomasa residual seca*: Aquella procedente de recursos generados por actividad agrícola, forestal, industria agroalimentaria e industria maderera. Los residuos forestales constituyen una importante fuente de biomasa. Se estima que, por cada árbol utilizado para la producción maderera, sólo se aprovecha comercialmente alrededor del 20%. Un 40% queda en él como ramas y raíces y el restante 40% en el proceso de aserrado, en forma de astillas, corteza y aserrín (INER, 2016).

- *Biomasa residual húmeda*: La constituyen los vertidos biodegradables, tales como aguas residuales e industriales incluidos los residuos agrícolas (Bun-Ca, 2002).

2.2.1.3 Atlas Bioenergética Ecuatoriano

a) Biomasa primaria:

Es aquella que tiene origen en la fotosíntesis y comprende toda la biomasa vegetal.

Tabla 1.*Características físicas biomasa primaria*

Fuente generadora de biomasa	Tipo de residuo	Características físicas
Residuos Forestales	Restos de aserrío: corteza, aserrín, astillas	Polvo sólido, h 30-45%
	Restos de ebanistería: aserrín, trozos, astillas	Sólido de baja humedad
	Restos de plantaciones: ramas, corteza, raíces	Sólido, h > 55%

Fuente: (INER, 2014).

b) Biomasa secundaria

Es aquella producida por seres que utilizan para su nutrición la biomasa primaria.

Tabla 2.*Características físicas biomasa secundaria*

Fuente generadora de biomasa	Tipo de residuo	Características físicas
Residuos Forestales	Cáscara y pulpa de frutas y vegetales	Sólido muy húmedo
	Cáscaras y polvo de granos secos	Polvo, h < 25%
	Estiércol	Sólido muy húmedo
Residuos agropecuarios	Tallos, hojas, cáscaras, maleza, pastura	Sólido h > 55%
	Pulpa y cáscara de frutas y vegetales	Sólido moderadamente húmedo
	Residuos de procesamiento de carne	Sólido muy húmedo
Residuos industriales	Aguas de lavado de carnes y vegetales	Líquido
	Grasas y aceites vegetales	Líquido, gaseoso

Fuente: (INER, 2014)

2.2.1.3 Biomasa como alternativa sustentable

El uso de la biomasa tiene el potencial de reducir las emisiones Gases de efecto invernadero, ya que genera en los procesos de transformación (combustión) aproximadamente la misma cantidad de que los combustibles fósiles, pero inmediatamente las plantas, en su nuevo ciclo de crecimiento retiran esa cantidad de la atmósfera. Así, las emisiones netas de son prácticamente nulas cuando se utilizan para producir energía (CSIC, 2007).

La biomasa puede suministrar energía mediante su transformación en materiales sólidos, líquidos y gaseosos. Los productos procedentes de la biomasa que se utilizan para fines energéticos se denominan, en general, biocombustibles y biomateriales, a todos aquellos que se aplican con fines térmicos y eléctricos (Salvador, 2010).

2.2.2 Aplicaciones de la biomasa

La biomasa posee una serie de aplicaciones desde el punto de vista energético y de su utilización como materias primas para el sector industrial. Los residuos de biomasa pueden utilizarse para las siguientes actividades (Castells, 2012):

La alimentación humana y ganadera por otra parte se refiere únicamente al uso de los residuos generados por la agroindustria, los animales domésticos han sido alimentados con restos de frutas y verduras y de la misma manera estos residuos pueden ser procesados para su uso e incorporación en alimentos destinados a consumo humano (Martinez et al., 2015).

La fertilización de los suelos comprende el manejo de biomasa residual para mejorar la calidad de los taludes, terrenos pobres y erosionados, incorporando una mezcla que previamente puede mejorar la calidad de los nutrientes entregados (Martinez et al., 2015).

La utilización de la biomasa como sustrato productivo comprende la incorporación de biomasa residual como base en la producción de lombrices o levaduras (Martinez et al., 2015).

La producción de energía es una alternativa que surge con mucha fuerza ya que proporciona importantes beneficios dado el carácter renovable de la biomasa (Martinez et al., 2015).

2.2.3 Caracterización de la Biomasa

En muchas ocasiones, la biomasa se elimina por ser molesta para la instalación que la produce o porque entorpece las labores forestales que la generan. Cuando esto ocurre, se está desperdiciando una fuente de energía importante, basta recordar que considerando que, por término medio, un kilogramo de biomasa permite obtener 3.500 kcal (Eroski, 2012).

La caracterización de la biomasa sirve para obtener una previsión del comportamiento de la biomasa ante las diferentes etapas involucradas en su uso como fuente de energía: obtención, transporte, tratamiento y conversión en energía (Nogues, 2010).

Existen una multitud de posibles propiedades y composiciones a realizar, a continuación, se presentan los principales parámetros que generalmente son motivo de estudio de la biomasa.

2.2.3.1 Parámetros Físicos

Las características físicas se manifiestan sin la presencia de fuerzas externas y sin que ocurra ningún cambio químico en el material en este caso la biomasa residual.

a) Densidad Real y Aparente

La densidad real es aquella propia de la materia, mientras que la densidad aparente tiene que ver con el modo como cada tipo de biomasa tienden a llenar un volumen, es decir, tiene en cuenta el volumen que ocupan sus poros abiertos o cerrados. Las biomasa con alta densidad aparente favorecen la relación de energía por unidad de volumen, por otro lado, materiales con baja densidad aparente necesitan mayor volumen de almacenamiento y transporte, elevando costos de proceso. Cuando se presenta una densidad aparente baja, la densidad energética también es baja,

por lo que en estos casos es necesario someter a procesos de densificación ya sea en forma de pellets o briquetas (Subero, 2010).

$$D_{real} = \frac{\text{masa de la partícula}}{\text{volumen de la partícula (sin poros)}} \quad \text{Ec. (1)}$$

$$D_{aparente} = \frac{\text{masa de la partícula}}{\text{volumen de la partícula (con poros)}} \quad \text{Ec. (2)}$$

b) Contenido de humedad

Es la cantidad total de agua contenida en el total de masa de una muestra de biomasa, es decir, es el contenido de agua por kilogramo de materia seca; para la mayoría de los procesos de conversión energética es imprescindible que la biomasa tenga un contenido de humedad inferior al 30%. Muchas veces, los residuos salen del proceso productivo con un contenido de humedad muy superior, que obliga a implementar operaciones de acondicionamiento, antes de ingresar al proceso de conversión de energía (Nogues, 2010).

Tabla 3.

Intervalos de humedad

Tipos de biomasa	Contenido de humedad, % peso
Cortezas	25 - 75
Maderas residuales gruesas	30 – 60
Virutas	16 - 40
Aserrín	25 - 40
Pasto empacado	10 - 15

Fuente: (Nogues, 2010)

2.2.3.2 Parámetros Químicos

Las propiedades químicas pueden referirse a los elementos que constituyen la biomasa (C, H, O, N, S) (Romanelli et al., 2017). El contenido de cenizas (elementos inorgánicos) y su comportamiento son de vital importancia en la caracterización. Por otra parte, el análisis más

sencillo de la biomasa como combustible consiste en determinar su análisis inmediato (carbón fijo, volátiles, cenizas) (Goldsack L, 2007).

a) Análisis elemental

Este análisis permite establecer el porcentaje en peso de los principales constituyentes con mayor presencia en la estructura molecular de la materia orgánica como son carbono (C), hidrógeno (H), nitrógeno (N), azufre (S) (Nogues, 2010).

Conocer esta información nos permite prever el comportamiento de la biomasa. A partir de ciertas formulas empíricas, que, partiendo del porcentaje en peso de sus elementos constituyentes, se puede obtener su contenido energético (poder calorífico). La biomasa es altamente oxigenada en comparación con los combustibles fósiles convencionales. Típicamente, entre el 30%-40% en peso de la materia seca en la biomasa es oxígeno. El principal constituyente de la biomasa es carbón, formando así desde el 30 al 60% en peso de la materia seca dependiendo del contenido de cenizas. De los componentes orgánicos, el hidrógeno es el tercer mayor constituyente, conformando típicamente entre el 5-6% de la materia seca. El nitrógeno, azufre, y cloro pueden también ser encontrados en cantidades usualmente menores al 1% en la materia seca, pero ocasionalmente se encuentran por encima de este (Brown, 2011).

2.2.3.3 Parámetros Energéticos

- **Termogravimetría (dTGA)**

Es una técnica donde la masa de la muestra es controlada, contra el tiempo o la temperatura siempre y cuando la temperatura de la muestra, en una atmósfera programada (Skoog et al., 2002). Este análisis ofrece la composición del material como su (celulosa, hemicelulosa, lignina, humedad, biochart, volátiles y cenizas), el método es común en la industria química y farmacéutica (Goldsack L, 2007). El análisis (dTGA) se realiza para polímeros, alimentos, productos farmacéuticos, así como muchos otros materiales (Linseis, 2018).

2.2.4 Propiedades mecánicas de la madera

Son muy importantes en madera estructural, permitiéndonos conocer con mayor exactitud qué tipo de madera se adecua más según su uso estructural final. Por ejemplo, si al realizar una estructura, sus parámetros serán distintos, en función de la carga que deban soportar, de las dimensiones de la estructura, de situación geográfica, si está en lugar con un ambiente muy seco o húmedo (Maderea, 2015).

2.2.4.1 Distribución granulométrica

La reducción granulométrica consiste en conseguir un tamaño de partícula óptimo mediante la trituración y posterior separación de las partículas con el tamaño deseado (Cosentino et al., 2011). El tamaño final alcanzado dependerá del tipo de tamiz a usar, es de vital importancia siempre reducir el tamaño de la biomasa para aumentar la superficie útil sobre la que se puedan dar las reacciones de oxidación (EcuRed, 2018).

Tabla 4.

Clasificación por abertura del tamiz

Tamiz (ASTM)	Tamiz (NCH) (mm)	Abertura real (mm)
N° 4	5	4.76
N° 10	2	2
N° 20	0.9	0.84
N° 40	0.5	0.42
N° 60	0.3	0.25
N° 140	0.1	0.10
N° 200	0.08	0.07

Fuente: (Novopan S.A, 2018)

2.2.4.2 Tracción de madera

Es el esfuerzo máximo al que está sometida la madera, por dos fuerzas de sentido opuesto, que hacen que disminuya la sección transversal y aumente la longitud. Ofrece alta resistencia en

dirección paralela a la fibra. Esta calidad es descendiente en madera estructural según los defectos que posea (Maderea, 2015).

2.2.4.3 Flexión

Es la resistencia que ofrece la madera a la deformación, esta fuerza es mayor cuando es aplicada perpendicularmente a las fibras y mínima en las direcciones radial y tangencial. Su valor característico en frondosas oscila entre 14 y 30 N/mm² para madera estructural (Maderea, 2015).

2.2.4.4 Corte de elementos

Es la capacidad de resistir fuerzas que tienden a que una parte del material se deslice sobre la parte adyacente a ella. Este deslizamiento, puede tener lugar paralelamente a las fibras; perpendicularmente a ellas no puede producirse la rotura, porque la resistencia en esta dirección es alta y la madera se rompe antes por otro efecto (GoogleSites, 2017).

2.2.4.5 Expansión máxima

La contracción lineal se define como el cociente entre la diferencia de dimensiones lineales de un estado a otro de menor humedad y la dimensión en estado saturado. La expansión lineal relaciona la diferencia de dimensiones lineales de un estado a otro de mayor humedad con la misma dimensión en estado anhidro (Coronel, 1994). Para la determinación de los valores de contracción y expansión de la madera se utilizan las dimensiones en sentido radial y tangencial de las probetas.

Para los cálculos de la contracción (C) y la expansión (E) volumétrico se utiliza la ecuación citada en (Coronel, 1994):

$$C = 1 - (1 - Ct) * (1 - Cr) * (1 - Cl) \quad \text{Ec. (3)}$$

Donde:

Ct = Contracción tangencial

Cr = Contracción radial

Cl = Contracción longitudinal

$$E = (1 + Et) * (1 + Er) * (1 - El) - 1 \quad \text{Ec. (4)}$$

Donde:

Et = Expansión tangencial

Er = Expansión radial

El = Expansión longitudinal

La variación dimensional en el sentido longitudinal para la contracción y la expansión se considera despreciable (Coronel, 1994).

2.2.4.6 Agarre de tornillo mínimo

Es otro método pseudo no destructivo que consiste en introducir un tornillo en la pieza que se desea estudiar para posteriormente arrancarlo y medir la máxima fuerza necesaria para lograrlo, al igual que los anteriores se trata de un método portátil y de fácil implantación en obra (Basterra, A et al., 2006).

2.2.5 Aislante térmico

Es un cuerpo mal conductor de calor y capaz de frenar la intensidad de un flujo térmico (Rougeron, 1977).

2.2.5.1 Aislantes térmicos naturales

Considerar el uso de aislantes térmicos naturales es una atractiva oferta para cualquier país, dado que además de considerar criterios de eficiencia energética, se utilizan criterios

medioambientales, por tanto, se combinan materiales y técnicas de construcción eficaces. Por otro lado, las fuentes naturales de recursos pueden considerarse sustentables ya que siempre estarán presentes y disponibles a ser utilizadas. Este motivo nos indica que debe existir un fuerte desarrollo en el sector de la construcción. Esto contrasta con muchos de los materiales de construcción presentes hoy en el mercado, siendo el amianto y la urea-formaldehído y sus derivados, causantes de graves problemas a la salud de las personas y del planeta (IDAE, 2007).

a) Aislantes térmicos naturales reciclados

Uno de los aislantes térmicos usados es la celulosa reciclada de papeles de diarios molidos y/o triturado, Este puede ser usado mediante el método de soplado, o como plancha semirrígida. Esta opción se presenta en forma similar, pero con residuos textiles, comúnmente de mezclilla, pudiéndose considerar natural al ser hecho de la fibra de algodón (Eco Agricultor, 2003).

b) Aislantes térmicos naturales de origen animal

Por otro lado, existen aislantes térmicos provenientes del reino animal, específicamente la lana de oveja, las plumas de pato y otras aves. Esta práctica es poco recomendable, dada las escasas propiedades que suelen presentar al paso de la humedad (Eco Agricultor, 2003).

c) Aislantes térmicos naturales de origen vegetal

En cuanto a aislantes de origen vegetal, estos son los que presentan mayor producción. Se pueden producir usando como materia prima el cáñamo, lino, algodón, bambú, coco, madera, totora, entre otros, siendo su abundancia la principal característica. Una ventaja fundamental que presentan los aislantes térmicos vegetales es que su materia prima puede ser producida en cualquier lugar del mundo. La globalización de los mercados puede considerarse como un beneficio, sin embargo, el impacto ambiental del transporte de carga en grandes distancias no es benéfico. De esta forma, mover la materia prima hacia la planta procesadora, para finalmente ser llevada hasta el consumidor hace que la huella ecológica del producto aumente. Cuando los aislantes térmicos vegetales cumplen su ciclo, estos pueden ser reciclados, incinerados, enterrados, o combinación

de varios procesos. Sin embargo, esto dependerá de la composición del aislante, pudiendo este presentar aditivos para entregarle propiedades ignífugas, insecticidas, fungicidas, mecánicas, etc., (Eco Agricultor, 2003).

En este contexto, difícilmente pudiese incinerarse un material con alto contenido de material ignífugo, y pudiese causar problemas al ser enterrado. De la misma forma, si el material redujo sus propiedades aislantes en el tiempo, difícilmente pudiese este reciclarse. Por otro lado, las plantas al hacer reaccionar el dióxido de carbono con el agua absorbida y la energía proveniente del sol obtienen los carbohidratos necesarios para su crecimiento, liberando al ambiente oxígeno. Es por este motivo que el balance de emisiones de dióxido de carbono de los aislantes orgánicos siempre será menor respecto a los aislantes sintéticos (Mercier et al., 2011).

- **Fibra de madera:** Se fabrica mediante un proceso húmedo, a partir de fibras de madera procedentes un 90% de restos generados por la tala en los bosques y un 10% de restos de la industria de la madera. Su transformación en material aislante se produce a través del triturado de los retales y su posterior desfibrado. Luego se les añade agua a las fibras 33 % y se calienta la mezcla hasta conseguir una pasta espesa y homogénea que se vierte en una cinta perforada donde se le quita el agua sobrante. Tras el prensado se procede al secado de los paneles y su corte a medida para el empaquetado (Dilluns, 2013).

Propiedades

- Material no irritante ni tóxico, estas fibras aislantes no contienen adhesivos en su composición que es 100% de maderas reciclables, por lo tanto, no generan residuos contaminantes.
- 100% reciclable y tiene un excelente ciclo de vida.
- Posee la inercia térmica más alta de todos los materiales aislantes (capacidad de absorción del calor) (Gutex, 2004).

Aislantes térmicos sintéticos

Existe una amplia gama de aislantes térmicos sintéticos, de entre los que destacan la espuma de polietileno, espuma de poliuretano, lana de roca, lana de vidrio, polietileno expandido, entre otros; siendo estos últimos tres los más utilizados (Margarida, 1984).

- *Polietileno expandido*: es uno de los aislantes más usados en la construcción, la cual junto al embalaje absorben 3/4 partes de su producción total. Este material derivado del petróleo se produce mezclando estireno y pentano, los cuales al entrar en contacto con vapor se expanden en bolitas ligeras, pudiendo almacenar un 98 % de aire en su interior (Pack-abc, 2016).

2.2.5.2 Características térmicas básicas de los aislantes

Las principales propiedades enunciadas a continuación son las características elementales de cualquier material desde el punto de vista térmico.

a) Densidad (ρ)

Es la masa volumétrica de un material, definida como la cantidad de masa (Kg) misma que caracteriza el material y el volumen unitario (m^3). Su valor se mide en Kg/m^3 , la densidad está relacionada con el comportamiento térmico de un material, una mayor densidad supone una reducción de la porosidad y ello conlleva una mayor conductividad térmica (Castells, 2012).

b) Conductividad resistencia y transmitancia térmica

Conductividad es una medida de la rapidez con que fluye la energía o calor a través de un material sometido a un gradiente de temperatura, y que se evalúa mediante el coeficiente de conductividad térmica; por lo que cuando más elevado es el valor de coeficiente de conductividad térmica más baja es la capacidad de este material como aislante térmico (Yunus, 2007).

El coeficiente de conductividad térmica se expresa en $W/(mK)$, es la cantidad de calor que pasa en la unidad de tiempo a través de la unidad de área de una muestra de extensión infinita y caras plano-paralelas y de espesor unidad, cuando se establece una diferencia de temperatura entre sus caras de un grado; la conductividad térmica es una propiedad característica de cada material, su valor puede depender de la temperatura y de una serie de factores tales como la densidad, porosidad, contenido de humedad, diámetro de fibra, tamaño de los poros y tipo de gas que encierre el material (Yunus, 2007).

Resistencia es una propiedad que mide la capacidad de oponerse al flujo de calor, la resistencia es la suma de las resistencias térmicas superficiales y la resistencia térmica de las diferentes capas que la componen. Por otro lado, la transmitancia térmica es una propiedad que mide la cantidad de energía que atraviesa a un elemento (IVE, 2018).

Tabla 5.

Conductividad y resistencia térmica de los aislantes

Material	Conductividad [W/mK]	Resistencia [m^2K/W]
Celulosa	0.038-0.069	0.79
Poliuretano	0.025-0.04	1.20
Lino	0.037-0.047	0.81
Cáñamo	0.037-0.045	0.81
Lana de oveja	0.035-0.050	0.86
Viruta de madera	0.038 - 0.107	0.79

Fuente: (Sears, 2000).

c) **Calor específico (C_p)**

Es la característica del material que expresa la cantidad de calor necesario (J) para aumentar un grado (1K) la temperatura de una unidad de masa (Kg); se mide en J/KgK . El calor específico determina la capacidad de un material para acumular calor. Su valor, que depende del material, tiene un rango de variación bastante menor para la mayoría de los materiales de construcción de 1 a 4; el rango está comprendido entre 500 y 2000 J/KgK y pocos materiales salen de este rango (Hernandez, 2014).

2.2.6 Aislante acústico

Supone impedir que uno o varios sonidos penetren o salgan de un medio, para aislar, se usan tanto materiales absorbentes, como materiales aislantes (Muñoz, 2018). Al incidir la onda acústica sobre un elemento constructivo, una parte de la energía se refleja, otra se absorbe y otra se transmite al otro lado al extenderse la vibración hacia todos los elementos estructurales o constructivos con los que esté en contacto mecánico. De tal forma la vibración llega a los recintos adyacentes donde se convierte en ondas de presión que generan el sonido (EcuRed, 2014).

2.2.6.1 Tipos de materiales en cuanto a su absorción

- *Materiales resonantes*, que presentan la máxima absorción a una frecuencia determinada: la propia frecuencia del material.
- *Materiales porosos*, que absorben más sonido a medida que aumenta la frecuencia. Es decir, absorben con mayor eficacia las altas frecuencias (los agudos). Cuanto más poroso es el material, mayor es la absorción. Cuanto más denso es este material, igualmente es mayor la absorción, hasta cierto límite donde pasaría a comportarse como reflexivo, las densidades medias de estos materiales oscilan en torno a 80 kg/m^3 . Los materiales porosos más comunes son las lanas minerales (de roca y de vidrio).
- *Absorbentes en forma de panel o membrana*, absorben con mayor eficacia las bajas frecuencias (los graves), que las altas.
- *Absorbente Helmholtz*, tipo de absorbente creado artificialmente que elimina (absorbe) específicamente un determinado margen de frecuencias (EcuRed, 2014).

2.2.7 Normativas

Las normativas son disposiciones que regulan el funcionamiento correcto de determinada actividad.

2.2.7.1 Normas ASTM

Desde su fundación en 1898, ASTM International (American Society for Testing and Materials) es una de las organizaciones internacionales de desarrollo de normas más grandes del mundo. En ASTM se reúnen productores, usuarios y consumidores, entre otros, de todo el mundo y se usan en investigaciones y proyectos de desarrollo, sistemas de calidad, comprobación y aceptación de productos y transacciones comerciales por todo el mundo. Son unos de los componentes integrales de las estrategias comerciales competitivas de hoy en día (ASTM , 1898).

2.2.7.2 Normas EN.

Los documentos normativos UNE (acrónimo de Una Norma Española) son un conjunto de normas, normas experimentales e informes (estándares) creados en los Comités Técnicos de Normalización (CTN) de la Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR).

AENOR es una asociación privada sin ánimo de lucro, reconocida legalmente en España como organismo nacional de normalización conforme a lo establecido en el Reglamento de la Infraestructura para la Calidad y la Seguridad Industrial (Real Decreto 2200/1995) y en el Reglamento (UE) 1025/2012 sobre Normalización Europea. Existen tres tipos de documentos normativos UNE, las Normas, las Normas Experimentales y los Informes. Las normas son un pilar fundamental de la Infraestructura de la calidad (AENOR, 2016).

2.2.7.3 Legislación Ecuatoriana - del Ministerio del Ambiente

La presente norma técnica es dictada bajo el amparo de la Ley de Gestión Ambiental y del Reglamento a la Ley de Gestión Ambiental para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental y se somete a las disposiciones de éstos, es de aplicación obligatoria y rige en todo el territorio nacional ecuatoriano. Como ya se mencionó en el apartado anterior a nivel nacional no existe una normativa específica relacionada con el aislamiento acústico, a lo mucho existe una mención respecto a los niveles permisibles en ciertos espacios públicos (MAE, 2012).

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Ubicación del sitio

3.1.1 Política

El estudio se realizó en la Planta Industrial Novopan Del Ecuador S.A; que une la parroquia rural de Pifo y Sangolquí, cantón Quito, de la provincia de Pichincha.

3.1.2 Geográfica

La Planta Industrial Novopan Del Ecuador S.A; se encuentra a S 0°16'24.6" de longitud W 78°19'56.7" de latitud, ubicada en la Vía La Troncal Distrital, parroquia rural que une Pifo y Sangolquí, cantón Quito, Provincia de Pichincha, a una altura de 2770 msnm. (*Ver Anexo A*).

3.1.3 Límites

La Planta Industrial Novopan Del Ecuador S.A; limita al norte con el centro logístico ITULPARK, al sur Vía. 35 Troncal de la Sierra, al este con el Parque Industrial Quito y al oeste con la Hacienda. Itulcachi.

3.2 Datos climáticos

La Planta Industrial Novopan Del Ecuador S.A; presenta una temperatura media anual es de 15.3 °C. La precipitación media aproximada es de 1026 mm, el clima es cálido y templado. Existe precipitaciones durante todo el año, por tal razón no existe meses ecológicamente secos (INAMHI, 2019).

3.3 Equipos, materiales y sustancias

Tabla 6.

Cuadro de actividades y equipos

Actividades y Ensayos	Materiales	Equipos	Insumos y Sustancias
Actividad 1: Disponibilidad de Biomasa en Novopan del Ecuador S. A	Archivos empresa Útiles de oficina Computadora Navegador GPS Hojas de campo Cámara fotográfica Calculadora Balde plástico y/o costales		
Actividad 2: Recolección de muestras y secado	Pala cuadrada TOMBO Hojas de campo	Balanza Analítica OHAUS R Micro balanza Perkin Elmer R	Fibra de madera
Actividad 3: Caracterización de la biomasa residual (Laboratorio UCE y EPN)	Vasos precipitación 100 y 250 ml Bureta 50ml/0.1	Analizador de biomasa tgm800 Analizador de carbono y nitrógeno total "Truspec CN" marca leco Balanza analítica OHAUS r = 0-210 g ap. ± 0.0001 g Micro analizador elemental thermo finnigan flash 1112 series	

Actividades y Ensayos	Materiales	Equipos	Insumos y Sustancias
Actividad 4: Preparación de la biomasa	Azadon jardinero nivelador TRUPER Balde plástico Brocha Wilson 2 pulgds Contenedor hermético Flexómetro Molde acero inoxidable Prensas tipo C 2 pulgds Rollo papel aluminio	Estufa universal Memmert Troqueladora neumática Molino de bolas	Aceite palma de oro Agua Cascara de arroz Catalizador MUF Parafina Sellador
Actividad 5: Corte y lijado de probetas Ensayos Físicos y mecánicos (Laboratorios EPN y Control de calidad NOVOPAN S.A)	Tamices normalizados Hojas de campo Cocina eléctrica Pie de rey	Lijadora eléctrica GSS 280 ave profesional Sierra circular Medidor de humedad absoluta PCE-MA 110 Medidor de densidad de madera timber grader mtg Máquina de ensayos universal marca ZWICK/ROELL z005 Taladro dynacell	
Ensayos Térmicos (Laboratorios UTN y EPN)	Bombona de gas Caja de vidrio Termómetro Fósforos Hojas de campo Mechero Bunsen MTS Malla Zaranda 3/16 Soporte universal Sujetadores de hierro	Pirómetro extech	Espuma Poliuretano MDP Panel
Ensayos Acústicos (Laboratorios UTN y EPN)	Hojas de campo	Sonómetro digital s-sm64	

3.4 Metodología

3.4.1 Analizar la corteza de *Eucalyptus globulus* Labill

Para cuantificar la biomasa residual generada del descortezado mensual dentro de la investigación, se utilizó la información de tonelaje mensual determinada por Novopan Del Ecuador S.A.; esto permitió conocer cuanta biomasa lignocelulósica se encuentra disponible para la ejecución de la presente investigación.

3.4.1.1 Porcentaje de corteza existente en el fuste

Se tomó como referencia diez árboles seleccionados para la corta; y se cortó rodajas de 20cm de longitud de cada individuo, además se calculó el volumen de cada muestra con y sin corteza aplicando la siguiente ecuación (López, 2000):

$$V_{\text{corteza}} = V_{\text{cc}} - V_{\text{sc}} \quad \text{Ec. (5)}$$

Donde:

- V_{corteza} = Volumen total
- V_{cc} = Volumen con corteza
- V_{sc} = Volumen sin corteza

Para expresar el porcentaje de corteza existente en los árboles seleccionados, se usó la siguiente formula (López, 2000):

$$P_{\text{corteza}} (\%) = \frac{V_{\text{cc}} - V_{\text{sc}}}{V_{\text{cc}}} \times 100 \quad \text{Ec. (6)}$$

Donde:

- $P_{\text{corteza}} (\%)$ = Porcentaje total
- V_{cc} = Volumen con corteza
- V_{sc} = Volumen sin corteza

3.4.1.2 Recolección de muestras

Se recolectó 810 kg de biomasa residual en estado verde, luego se realizó una clasificación en diferentes tamaños.

Tabla 7.

Rango de clasificación

Clase	Tamaño
A	Grande
B	Mediano
C	Pequeño

3.4.1.3 Caracterización de la biomasa residual

Para realizar la caracterización de la corteza de *Eucalyptus globulos Labill* se procedió con el secado de los residuos en una estufa a temperaturas que oscilan entre 100°C y 130°C durante tres días, luego se pulverizo hasta obtener partículas entre 0.22 y 1.00 mm obtenido los 100 gr. de muestra para el ensayo de caracterización mismo que se lo realizó en el laboratorio de Ensayos de Materiales y Modelos de la Universidad Central del Ecuador (UCE); con el fin de garantizar resultados confiables.

3.4.1.4 Parámetros Físicos

a) Densidad real y aparente

Para calcular la densidad de la muestra, se llenó el matraz de destilación hasta que el agua destilada sobrepasaba el tubo situado en el cuello, permitiendo que el exceso de agua se perdiese por el mismo. Una vez aforado, se introdujo la muestra en verde y se esperó que se hunda sin necesidad de ayuda adicional. El ascenso del nivel del agua por efecto del desplazamiento que de la misma hacía el objeto introducido, provocó que esta se escape por el orificio del centro del cuello del matraz hasta volver a aforarse. El líquido vertido se recogió en un recipiente de peso y

se calculó el volumen en función del peso del agua destilada recogida en una báscula de precisión de 0.001g. A los datos obtenidos se les aplica la ecuación para la determinación de la densidad de cada muestra (Husch et al., 2003).

$$Pm = \frac{Ps}{Vv} \quad \text{Ec. (7)}$$

Donde:

- Pm = Densidad de la madera (g/cm³).
 Ps = Peso seco de la muestra (g).
 Vv = Volumen en verde de la muestra (cm³)

b) Determinación del contenido de humedad

- Preparados y etiquetados los recipientes de secado.
- Se pesó de cada recipiente en la báscula de precisión de 0.001 gr., con el fin de tener una muestra homogénea de 5 gr.
- Se introdujo los recipientes con las muestras en una estufa de secado a una temperatura de 130°C.
- Tras 24 horas de secado, se pesó los recipientes con la muestra ya seca, en la báscula de precisión, teniendo en cuenta realizar este pesado entre los 10 – 15 segundos después de sacar las muestras de la estufa para evitar la absorción de humedad ambiental por parte de la muestra.
- Para el cálculo del contenido de humedad, expresado en porcentaje de masa, se usó la siguiente ecuación.

$$\% \text{ Hum} = \frac{(A-B)}{c} * 100 \quad \text{Ec. (8)}$$

Fuente: (LAEV, 2017).

Donde:

- % Humedad = Porcentaje de humedad en base húmeda.
 A = Peso crisol + muestra húmeda
 B = Peso crisol + muestra seca
 C = Peso muestra húmeda

3.4.1.5 Parámetros Químicos

- **Análisis elemental**

Es una técnica que proporcionó el contenido total de carbono, hidrógeno, nitrógeno y azufre de una muestra de materiales sólidos. La técnica se basa en la completa e instantánea oxidación de la muestra mediante una combustión con oxígeno puro a una temperatura aproximada de 1000°C (Sierra et al., 2011). Para determinar el porcentaje de cenizas utilizaremos la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Cn} = \frac{m_1 - m_c}{m_m} * 100 \quad \text{Ec. (9)}$$

Fuente: Ramírez 2012

Donde:

- % Cn = Porcentaje de cenizas
- m₁ = Peso de cenizas + cápsula
- m_c = Peso de la cápsula
- m_m = Peso muestra

3.4.1.6 Parámetros Energéticos

- **Termogravimetría (dTGA)**

La Termogravimetría se llevó a cabo utilizando un termo-balanza dTGA Q-500 acoplada a un horno estándar y con flujo de nitrógeno de 50 ml/min-1, para obtener la termo grama se debe registrar la pérdida de peso de la muestra y la temperatura a intervalos cortos de tiempo.

La velocidad de calentamiento se aplicó según los estándares recomendados en el laboratorio, usando el software OriginLab Pro que permite calcular la velocidad de pérdida de peso contra la temperatura y obtener la curva DTG. (Enma Manals, et al., 2011).

3.4.2 Elaboración del prototipo panel termo-aislante

Para la elaboración del panel termo-aislante se tomó como referencia el diseño establecido en NOVOPAN S.A., para la producción de paneles prototipo con dimensiones de 23 x 23 x 3.6 cm y 23 x 23 x 5 cm, para lo cual se realizó los siguientes procesos:



Figura 1. Proceso de elaboración del panel

3.4.2.1 Secado de la materia prima

El proceso de secado se lo realizó de forma mecánica en una estufa a temperaturas entre 100°C y 130°C en el laboratorio de Anatomía de Madera y Xiloteca de la Universidad Técnica del Norte, donde se ingresaron las muestras ya clasificadas mismas que se pesaron antes y después durante varios días consecutivos, hasta la obtención de muestras homogéneas.

3.4.2.2 Triturado y selección de materia prima

El proceso de triturado de la biomasa consistió en la reducción del tamaño de la partícula donde se usó una molienda de martillos, mismo que permitió obtener partículas que oscilan entre 0.22 mm y 4.06 mm de espesor, 0.5 mm y 1mm de ancho y 10 mm y 20 mm de largo.

3.4.2.3 Selección de adhesivo y mezcla

Se realizó la combinación de adhesivos mediante el desarrollo de dos operaciones unitarias: pesaje y dosificación de biomasa y adhesivo, luego se incorporan todos los componentes en las cantidades asignadas hasta obtener una masa homogénea.

Tabla 8.

Porcentaje de dosificación

Adhesivos y Biomasa	Dosificación
Melamina urea formaldehído (MUF)	
Catalizador	90% - 10%
Parafina	
Corteza de <i>Eucaliptus globulus</i> Labill	

3.4.2.4 Prensado

Para realizar el prensado del panel se elaboró un molde de acero con dimensiones de 23x23x12 cm con una placa de las mismas condiciones la cual permite que la mezcla tome la forma deseada, se colocó papel aluminio y aceite para evitar daños al momento de extraer el panel.

El prensado se realizó de forma mecánica usando una prensa hidráulica abrazaderas G durante 10 minutos, el peso y la presión varían según la dosificación; esto permite asegurar la calidad del producto final.

Tabla 9.

Ciclo de prensado

Panel termo-aislante	Presión	Unidad	Tiempo	Unidad
	Máxima	psi	5	Minutos
90 % - 10%	Mediana	psi	3	Minutos
	Inicial	psi	2	Minutos

3.4.2.5 Proceso de secado

El proceso de secado se lo realizó a temperatura controlada usando una estufa industrial a temperaturas que oscilan entre 150°C y 180°C. Con el objetivo de tener una mezcla homogénea sin burbujas o espacios, permitiendo que la resina reaccione con el panel.

3.4.2.6 Proceso de desmolde

El diseño del molde presentado permite un desmontaje de sus partes garantizando un desmolde completo del tablero con el fin de evitar fisuras tempranas.

3.4.3 Evaluar las propiedades del panel termo-aislante

Los parámetros de diseño para elementos estructurales de paneles, que se establecieron en esta investigación permitieron aprovechar las propiedades físico-mecánicas y termo-acústicas del material de manera óptima.

3.4.3.1 Ensayos físicos

a) Densidad

Para determinar la densidad se realizó cinco probetas de 5x5 cm de los paneles de 5 cm y 3.6 cm de espesor respectivamente, utilizando la balanza digital se obtuvo el peso de cada probeta para la medición de la masa se usó un flexómetro digital y micrómetro mismos que permitieron medir el ancho y espesor de la probeta, finalmente se utilizó la siguiente fórmula para obtener la densidad:

$$D = \frac{M}{V} \quad \text{kg/m}^3 \quad \text{Ec. (10)}$$

Fuente: (Novopan S.A, 2018)

Donde:

- D = Densidad
- M = Masa
- V = Volumen

b) Análisis granulométrico

Para realizar el ensayo se tomó en cuenta las siguientes normas: *ASHTO T27*: Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates, *ASTM D421-85*: Standard Practice for Dry Preparation Samples for Particle-Size Analysis and Determination Constants y *ASTM D422-63*: Standard Test Method for Particle-Size Analysis.

Se utilizó muestra en 20 g de viruta de corteza de *Eucaliptus globulus* **Labill**, se colocó la muestra en el tamiz en forma de cascada colocando los tamices en orden ascendente del número de tamiz durante 10 minutos hasta obtener los diferentes estratos.

3.4.3.2 Ensayos mecánicos

a) Tracción de madera cara interna (CI)

Para realizar este ensayo se empleó la norma EN 319:1993 y cinco probetas de 5 x 5 cm de los paneles de 5 cm y 3.6 cm de espesor respectivamente acondicionadas con sujetadores de hierro en la parte superior e inferior las cuales fueron adheridas utilizando 1 gr. de polímero en las dos caras; utilizando el dinamómetro se aplicó la fuerza correspondiente, se calculó la tracción utilizando la siguiente formula:

$$Tci = \frac{P}{A} \text{ kg. f/cm}^2 \quad \text{Ec. (11)}$$

Fuente: (Novopan S.A, 2018)

Donde:

- Tci = Tracción de cara interna expresada en kg. f/cm²
- P = Fuerza aplicada kg. F
- A = Superficie o área de Muestra cm²

b) Flexión

La determinación de la flexión se tomó en cuenta la norma EN 310:2010; el ensayo consta de dos partes:

- Parte 1: Se utilizó cinco probetas de 23x5x 3.6 cm y cinco probetas de 23x5x5 cm, mismas que se miden y se calcula el volumen utilizando la siguiente ecuación:

$$V = L x A x e \text{ (m}^3\text{)} \quad \text{Ec. (12)}$$

Fuente: (Novopan S.A, 2018)

Donde:

- V = Volumen total
- L = Largo en metros
- A = Ancho en metros
- E = Espesor en metros

- Parte 2: para conocer la ruptura de la muestra se colocó la probeta sobre los soportes encendiendo el dinamómetro mismo que aplica una fuerza perpendicular, hasta deformar la probeta para conocer la flexión en el equipo se utilizó las siguientes ecuaciones:

$$F = \frac{3 Pl}{2.b.h^2} \text{ kg. f/cm}^2 \quad \text{Ec. (13)}$$

Fuente: (Novopan S.A, 2018)

$$F = K \frac{P}{h^2} \quad \text{Ec. (14)}$$

Fuente: (Novopan S.A, 2018)

Donde:

- L = Distancia entre apoyos que se emplea en el dinamómetro
- B = Ancho en muestra 5cm
- K = Constante que depende del espesor si el espesor es mayor o igual a 9 mm la constancia vale 6 si el espesor es menor a 9 mm de la constancia vale 3
- P = Fuerza que se aplica por unidad de área en kg. F
- F = Flexión

c) Expansión máxima

Para la determinación del ensayo de expansión se usó en la norma EN 317:1993 y se utilizó once probetas de 2.5 x 2.5 x 3.6 cm y 2.5x2.5x5 cm respectivamente, las que se colocaron en el cesto metálico y sumergido durante dos horas en un cubo de agua hasta que queden cubiertas 2.5cm de líquido y una placa metálica delgada; con el goniómetro se midió nuevamente el espesor para conocer el incremento final y se calculó usando la fórmula:

$$\% e = \frac{ef-ei}{ei} \times 100 \quad \text{Ec. (15)}$$

Fuente: (Novopan S.A, 2018)

Donde:

- Ef = Espesor promedio final
- Ei = Espesor promedio inicial
- %e = Porcentaje de esponjamiento

c) Agarre de tornillo min.

Se realizó el ensayo tomando en cuenta la norma EN 320:1993 y tres muestras de 5x5x3.6 cm y 5x5x5 cm respectivamente, a las dos muestras se realizó agujeros con la broca, de forma perpendicular y en el centro de sus caras; de la misma forma se introdujo el tornillo con su respectivo sujetador, colocándolo verticalmente se lo introduce en la capa interna o canto, finalmente con el dinamómetro se sujetó bien y se aplicó la fuerza perpendicular que extrajo el tornillo.

d) Corte de elementos

Se cortaron ocho bloques del panel termo aislante con dimensiones de 23x23x5 cm y 23x23x3.6 cm respectivamente, se cortó 72 probetas con una sierra circular en dos direcciones verticales y horizontales.

3.4.3.3 Ensayos térmicos

a) Comportamiento frente al fuego

Para evaluar la resistencia al fuego y determinar el tiempo de combustión de las muestras se realizó una comparación entre cinco probetas artificiales de poliuretano y cinco probetas de panel 3.6 cm y 5 cm; se usó una bombona de gas adherida a un mechero bunsen, colocado en una base universal para ensayos.

b) Conductividad, resistencia y transmitancia térmica

El método para determinar la conductividad térmica está dado según la norma ASTM C 177 Standard Test Method for Steady-State Heat Flux Measurements and Thermal Transmission Properties by Means of the Guarded-Hot-Plate Apparatus, el ensayo se lo realizó en un aparato de medición diseñado bajo la norma ASTM C 177-13, en la ESPE.

Parte de la metodología descrita en la norma indica medir el flujo de calor en estado "estacionario", para lo cual se utilizó una caja de vidrio que simula una casa, en su interior se colocó un termómetro para verificar la temperatura interna de la caja y en el exterior se usó un pirómetro el mismo que tomo tres medidas de temperatura diferentes para techo eh interior con el fin de promediar las temperaturas a las que se expone el panel (Velasco R et al., 2014).

3.4.3.4 Ensayo Acústico

El método para determinar la aislación acústica esta dado según la norma ISO140-4, misma que indica usar un emisor de ruido dentro de una cámara o caja de vidrio que permite crear un campo sonoro entre el emisor y el panel, el receptor de sonido o sonómetro se coloca en la parte superior o techo de la prueba (Inerco, 2012).

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSION

4.1 Caracterización de la corteza de *Eucalyptus globulus* Labill

La producción de la descortezadora en Novopan del Ecuador S.A; se encuentra en alrededor de 30 ton/día de biomasa residual. En este sentido Ing. David Racines, Jefe de Patios de Madera, Novopan Del Ecuador S.A; (2018) afirmó que, desde la implementación de la maquinaria de descortezado, se observó un incremento del 7.87% de *Eucalyptus globulus* **Labill** con respecto a los años 2016 y 2017.

Sanz y Piaeeiro (2017) registraron un porcentaje del 60% en madera aprovechada en Galicia, un 17% autoconsumo por la propia industria de aserrado y un 23% viene a ser los residuos generados del descortezado en fábrica de maderas de coníferas. Por otro lado, Barrera (2010) estima que, en promedio para varios aserraderos del estado de Durango, se descorteza un volumen de madera en rollo igual a 127 m³ por turno de 8 horas.

4.1.1 Porcentaje de corteza existente en el fuste

Se registró un porcentaje volumétrico promedio de 2.19% con un rango comprendido entre 0.56% y 4.89%. Se determinó un error estándar de la media de 0.17 que permite inferir que la media es representativa al conjunto de datos. La desviación estándar de la media es de 1.15%, lo cual indica que los datos no se encuentran agrupados y son muy heterogéneos como lo demuestra el coeficiente de variación de 52.76%.

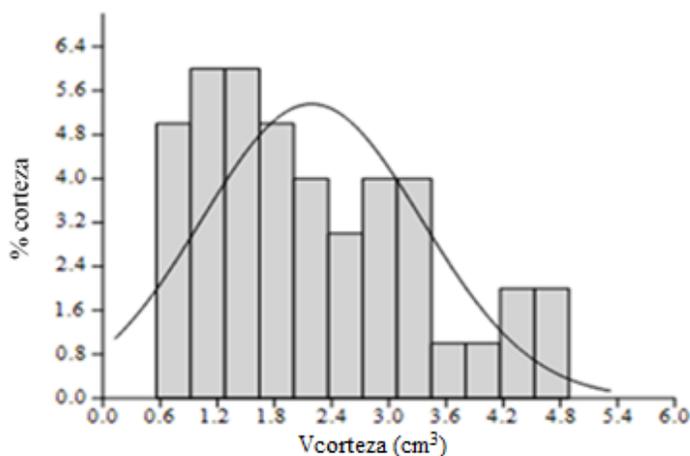


Figura 2. Porcentaje de corteza

Gutiérrez *et al.* (2001) determina que el contenido de corteza tiene una influencia directa en el rendimiento de los troncos, dependiendo del espesor de la corteza y del diámetro de estos, en términos absolutos el porcentaje volumétrico promedio del espesor de la corteza en coníferas está en el 4%, en términos de peso. Por otro lado, Bun-ca (2002) considera que, de cada árbol extraído para la producción maderera, sólo se aprovecha comercialmente un porcentaje cercano al 20% y estima que el 40% es dejado en el campo (ramas, raíces y corteza).

4.1.2 Recolección de muestras

Según el tamaño de las partículas, se obtuvo tres tipos de clasificación los cuales se almacenaron por separado en contenedores, cabe recalcar que la corteza clasificada como de tipo A (Grande), fue la que empleó para su posterior trituración. Es preciso indicar que el 43 % de la corteza fue descartada para la elaboración del biopanel (Ver. Figura 3)

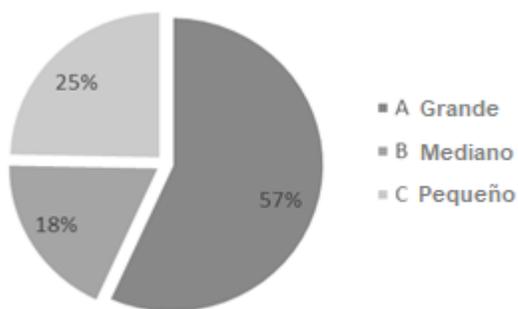


Figura 3. Clasificación de corteza

4.1.3 Proceso de Secado

La corteza en estado verde tuvo contenido de humedad mínimo de 58.85%, y un máximo de 84.15%, llegando en el estado semi seco ($\pm 0.5\%$) equivalente al 6.67% de promedio; mientras que el contenido seco al horno, es decir una vez estabilizado fue de 6.17%.

Benítez (2012) observa que el contenido de humedad de corteza de pino se estabiliza a los 6 minutos de estar en el microondas, obteniendo un contenido de humedad estabilizado del 28%.

4.1.4 Caracterización de la biomasa residual

4.1.4.1 Parámetros Físicos

- **Densidad**

La densidad aparente de la corteza fue de 0.728 g/ml; el valor de la densidad del sustrato permite la confección de paneles de densidad media alta.

Truchillo *et al.* (1996) se encontró con valores medios de 0.436 g/ml en *Eucalyptus Saligna* con 24 meses de edad. Por otro lado, Gouvêa *et al.* (2011) obtuvo 0.444 g/ml, en *Eucalyptus grandis* y *Eucalyptus urophylla* de 3 años y Sette Junior *et al.* (2012) estudiando *Eucalyptus grandis* con 24 meses de edad, observo una densidad media 0.430 g/ml.

- **Contenido de Humedad**

El contenido de humedad de la corteza luego del secado fue de 6.17%, después de un período de almacenamiento aumentó a un 12.26%. Este contenido de humedad final corresponde a un nivel adecuado para la fabricación del panel propuesto.

Benítez (2012), observa que el contenido de humedad de corteza de pino almacenado corresponde al 28%.

4.1.4.2 Parámetros Químicos

- **Análisis elemental**

El contenido de azufre de la muestra analizada fue de 0.42% de masa, un valor considerado alto según las normas Austriacas, sin embargo, en el Ecuador no existe norma que rijan el porcentaje (%) de azufre por lo que se concluye que la corteza se ve afectada; el resto de los contenidos están dentro de los estándares pues se sabe que la madera contiene.

Tabla 10.

Porcentaje en masa / desviación estándar de la medición

Muestra			N	O	H	S
Corteza	de	%	0.28	43.18	5.82	0.42
Eucalipto		SD	0.00	0.59	0.11	0.06

Atuesta & Sierra (2015) explican que el contenido de azufre en la muestra de aserrín analizada fue de 0.40% de masa; este valor es bastante superior al reglamentado por la norma de combustibles aglomerados que debe ser de 0.04% en porcentaje de masa; valor que se ve afectado por la mezcla de la madera con el carbón. El contenido de nitrógeno de la muestra fue de 1.12 en porcentaje de masa, comparado con el valor de referencia de la norma austriaca (<0.03); es superior por el alto contenido de nitrógeno del carbón. Los resultados del análisis se ven afectados por los contenidos de los mismos compuestos del carbón. Por otro lado, Jiancheng *et al.* (2014) dice que un alto contenido de nitrógeno es perjudicial ya que se producirían emisiones de NOx, de gran preocupación por las medidas ambientales.

4.1.4.3 Parámetros Energéticos

- **Termogravimetría dTGA**

En las curvas dTGA se observa una pérdida inicial de materias volátiles de la muestra con relación a la temperatura inferior de 100°C, donde tiene lugar la evaporación de la humedad y liberación de CO, CO₂, y materiales extractables.

Después de la pérdida de materia volátil, empiezan a descomponerse térmicamente los otros componentes. A la velocidad de calentamiento de 6000°C/seg, utilizada en las pruebas de termogravimetría, la mayor pérdida de masa o salto se produjo para todas las biomásas entre 100 y 700°C.

Se obtuvo como resultado de la decombolución los siguientes parámetros: 21.43% de humedad, 20.67% de volátiles, 6.68% de biochart, 0.07% de cenizas, 43% de hemicelulosa, 49% de celulosa y 8% de lignina.

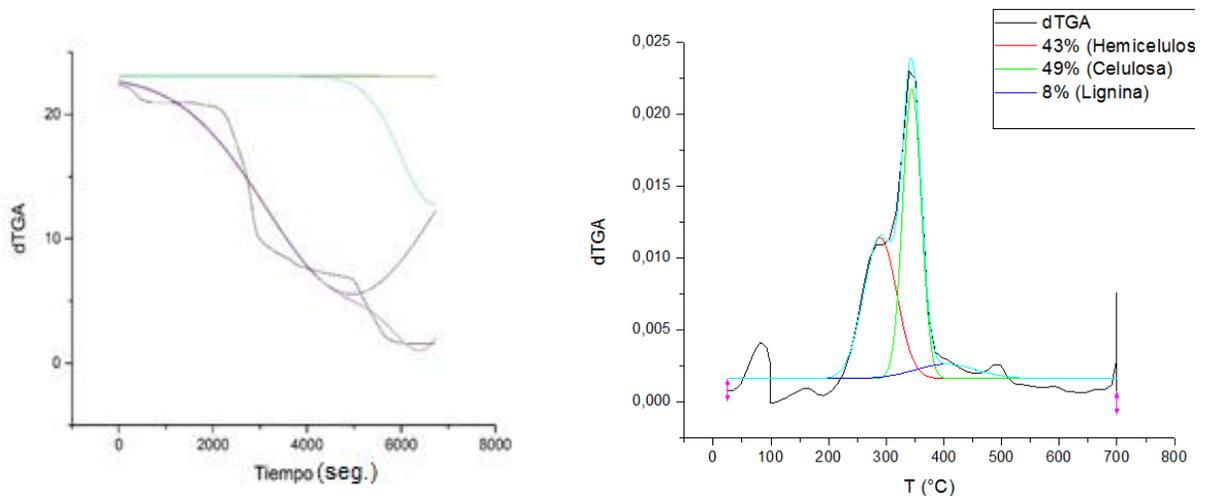


Figura 4. Análisis dTGA

Meszaros *et al.* (2004) dice que las curvas dTGA de diferentes biomásas observadas tienen una pérdida inicial de materias volátiles de las muestras a temperaturas inferiores de 200°C, donde tiene lugar la evaporación de la humedad y liberación de CO, CO₂, y materiales extractables.

Por otro lado, Medina *et al.* (2011) habla sobre análisis termogravimétrico en aserrín de pino indicando pérdida fundamental de masa, 67,75 %, que ocurre entre 200°C y 400°C; con un pico de temperatura máxima de 320°C. Entre 580 y 650°C ocurre la descomposición de un 20.49 % de la biomasa.

4.2 Elaboración del prototipo panel termo-aislante

Después de la recolección de la corteza de *E. globulus* Labill, y los procesos ya mencionados se obtuvo prototipos de espesores de 36 y 50 mm, con densidades entre de 670 y 725 kg/m³ respectivamente, según las normas INEN se clasifica como tipo B, presentando características organolépticas como, color café claro amarillento, brillo medio alto, textura muy gruesa, olor fragante a *Eucalyptus*.



Figura 5. Vista frontal prototipo panel



Figura 6. Vista lateral prototipo panel

4.3 Evaluación de las propiedades del panel termo-aislante

Para conocer las propiedades del prototipo de panel termo aislante se realizaron los siguientes ensayos: físicos, mecánicos, térmicos y acústicos.

4.3.1 Ensayos físicos

4.3.1.1 Análisis granulométrico

La sumatoria de pesos retenidos y el valor del peso inicial son de 19.1 gr. con respecto a la masa de la muestra, esto se debe a la obtención de partículas pequeñas almacenadas en su mayoría en los tamices entre 0.514 mm y 0.1 mm respectivamente, lo que significa que aumenta la superficie específica y el aprovechamiento de la resina. En la figura 7, se observa que casi el 59.69% de las partículas de corteza tienen un tamaño inferior a 1 mm, mientras que el 40.31% de las partículas de corteza tienen un tamaño superior a 1.24 mm. La diferencia entre las partículas finas y gruesas del material está en sus pesos, es por eso por lo que se descartan los tamices mencionados y solo se utiliza las partículas almacenadas en los tamices entre 4.06 mm y 1.24 mm.

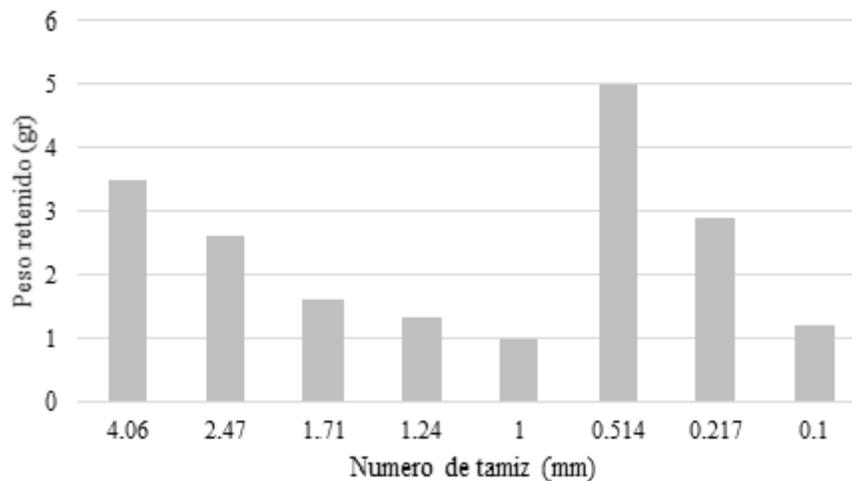


Figura 7. Porcentaje de peso retenido de corteza de E. globulus

Poblete & Sánchez (1991) para tableros con corteza de pino dice que casi el 70% de las partículas de corteza tienen un tamaño superior a 2.0 mm, mientras que en la madera este rango de tamaño alcanza aproximadamente al 40% de las partículas.

4.3.1.2 Densidad

La densidad promedio del panel de 36 mm es de 670 kg/m³ y del panel de 50 mm es de 725 kg/m³ registrando un valor ligeramente inferior al determinado en la madera de *E. globulus* Labill de 780 kg/m³.

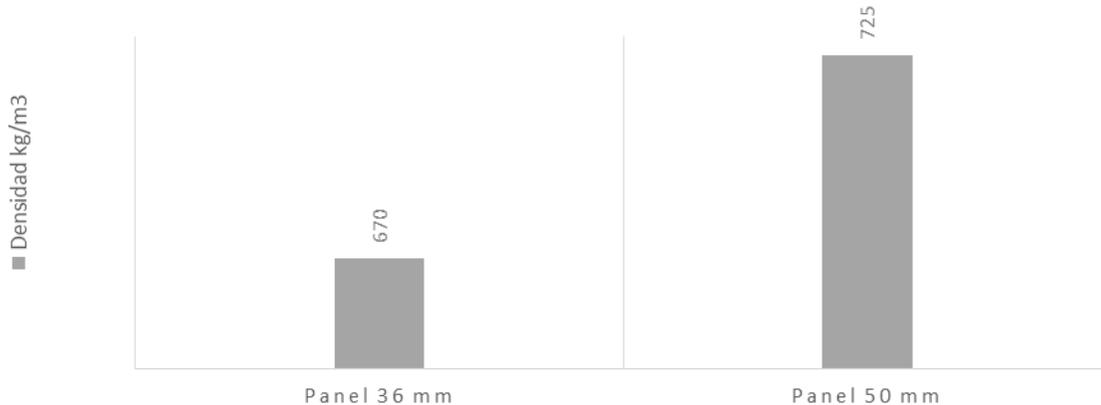


Figura 8. Densidad del panel

Larmore (1959) para la fabricación de paneles a base de corteza de pino, la densidad de (463 kg/m³) se encuentra dentro del rango usado en la industria. De acuerdo con estos resultados y considerando los resultados de otros trabajos, el material es adecuado para la fabricación de paneles de partículas.

4.3.2 Ensayos mecánicos

La utilización de la corteza como materia prima disminuye la capacidad en el módulo de ruptura de la flexión mínima donde se apreció que las fibras fallaron por extracción y no por ruptura. Por otro lado, resistencia a la tracción mínima para la cara interna indican que la muestra de panel tiene una resistencia promedio de 0.85 (kg/cm²) en el ensayo de expansión se observó un óptimo comportamiento del panel en 2 horas de inmersión la máxima expansión alcanza el 2.7% evidenciando una excelente estabilidad dimensional en relación con la madera. Para el agarre de tornillo resultó un promedio de 113 kg. f para la cara externa, pero se obtuvo un promedio diferente para la cara interna de 76 kg. f, estas diferencias se dan por la ubicación de la fibra en los diferentes planos.

Tablas 11.*Ensayos mecánicos*

Espesor +/-0.3mm	Módulo de ruptura	Resistencia a la tracción	Expansión	Agarre de tornillo min.	
	(kg. /cm ²) Flexión mín.	(kg/cm ²) Min.	máx. 2hr (%)	CE	CI
36	29	0.85	2.7	113	76

La disminución del módulo de ruptura de la flexión mínima, resistencia a la tracción mínima y agarre de tornillo para la cara interna y externa, se da por la elevada participación de corteza de *Eucalyptus* en el panel también es atribuible el efecto del adhesivo no disperso uniformemente entre la fibra y las características propias de la estructura anatómica de la biomasa.

Torres (1989) habla sobre el módulo de ruptura como la flexión mínima presente en las características dimensionales de las partículas, las dimensiones de las partículas de corteza tienen un coeficiente de esbeltez muy bajo de modo que producen tableros con resistencias a la flexión inferiores a lo normal. Por otro lado, el efecto negativo de la corteza sobre la resistencia a la tracción es coincidente con los resultados obtenidos en tableros fabricados con desechos de aserrío de *Pino insigne* al igual que las características estructurales de la corteza son más preponderantes y determinan una reducción de esta propiedad.

Hall *et al.* (1960) indica que en la corteza se encuentra con un alto contenido de extraíbles con carácter de hidrófobos, los que pueden afectar la expansión y la absorción de agua. Por otro lado, Lehmann (1974) dice que los elevados valores de expansión que registran los tableros de pino con cantidades menores de corteza pueden explicarse por el tamaño de las partículas empleadas comprobado que esta propiedad tiene relación directamente proporcional al espesor de las partículas.

4.3.3 Ensayos térmicos

4.3.3.1 Comportamiento frente al fuego

El tiempo de combustión entre los materiales evaluados demuestra que la espuma de poliuretano es inferior y estadísticamente muy diferente a los demás materiales, según el análisis clúster de la figura 9. Para los tableros MDP como el RH-FORMALETA y Laminado, tienen un comportamiento similar en lo que respecta a la combustión. Cabe recalcar que los paneles tienen un mayor tiempo de combustión como se puede observar en la figura 10., eso quiere decir que pueden resistir aún más a los ataques de fuego y estadísticamente son diferentes entre sí, destacando el panel de 50 mm con el mayor tiempo de combustión.

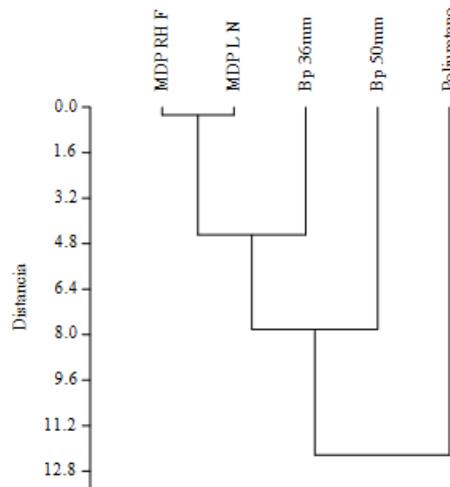


Figura 9. Análisis clúster

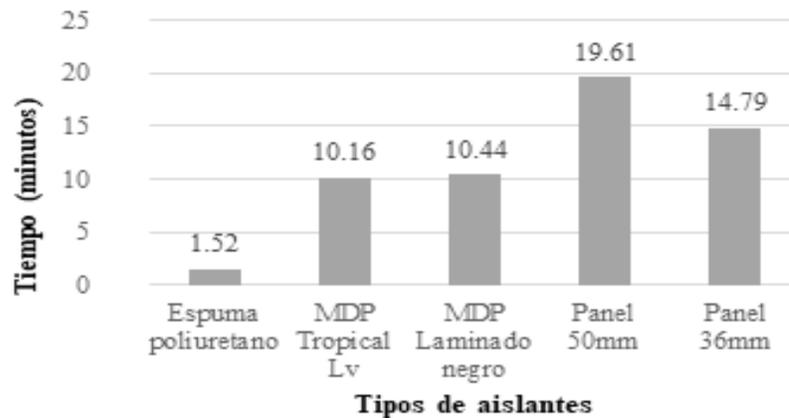


Figura 10. Comportamiento frente al fuego (Tiempos)

Zambrano (2016) en el ensayo de comportamiento al fuego realizado en el estudio para bloques con fibra de cabuya como bloques de hormigón convencional, presentan que los bloques estudiados impiden la propagación del fuego hacia la cara no expuesta, este se debe a la estructura hueca de los bloques mismos que encierra dentro de sus orificios cantidad considerable de aire el cual es un mal conductor de calor.

4.3.3.2 Conductividad, resistencia y transmitancia térmica

La conductividad térmica del panel de corteza de *Eucalyptus* es de 0.05 W/(mK), la resistencia térmica es de 0.68 m²K/W y transmitancia térmica es 1.47 W/m²K. En el análisis de varianza se aprecia que existe alta significancia tanto para la temperatura interior como exterior en todos los factores analizados. Esto quiere decir que entre cada panel existe una diferencia en cuanto a la temperatura registrada como la hora de registro como se puede observar en la figura 11. Cabe mencionar que en las dos variables se registran coeficientes de variación del orden 1.63 y 2.23 respectivamente que indica que los datos son muy homogéneos, al realizar la prueba de Tukey se evidenció la que en el caso de la temperatura interna del panel de 36 mm alcanzo los 36.11°C, por el contrario, el panel 50 mm alcanzo los 27.94°C.

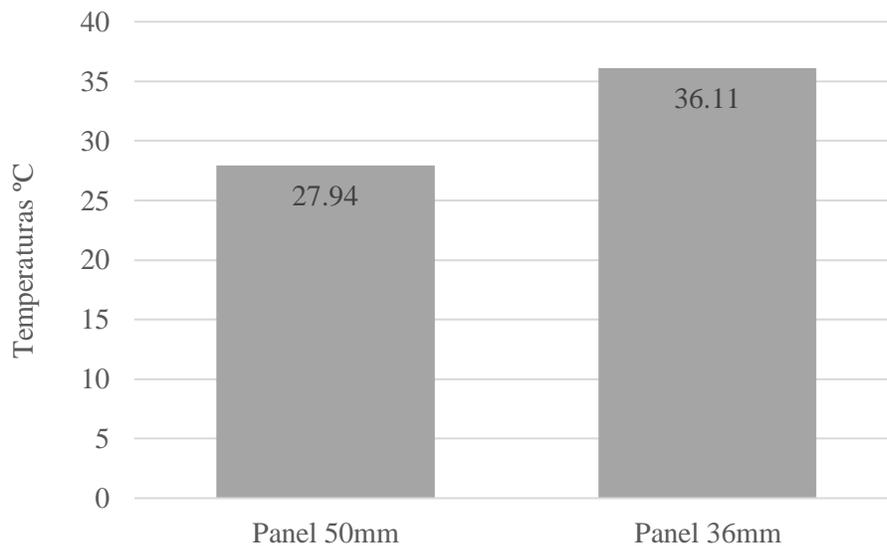


Figura 11. Temperatura interna paneles

IVE (2018) considera aislante térmico a los materiales que tienen conductividad menor a 0.060 W/(mK) y una resistencia térmica mayor a 0.25 m²K/W. En base a lo mencionado se puede decir que el panel de corteza de Eucalyptus es un aislante térmico.

4.3.3 Ensayos Acústicos

Se toma como base la canción *David Guetta – Hey Mama*, porque tiene dBa que van desde 65.5dBA a 83.1dBA con una media de 72.0dBA como se indica en la figura 12, la canción posee una combinación de sonidos agudos y bajos, evidenciando una relación inversamente proporcional porque a mayor espesor del panel menor cantidad de decibeles (dBa) transmitidos que pueden llegar a tener un mínimo de 52.8 dBa. En cuanto a la distribución de los dBa registrados se observa que tienen una tendencia a la curva normal, previa comparación de que existe distribución normal y homogeneidad de varianzas al realizar las pruebas de t-Student se observa que los paneles son estadísticamente diferentes entre sí, en cuanto a la cantidad de dBa que transmitidos. Ratificando que a mayor espesor del panel existe una menor cantidad de dBa transmitidos exponiendo al panel como un aislante acústico.

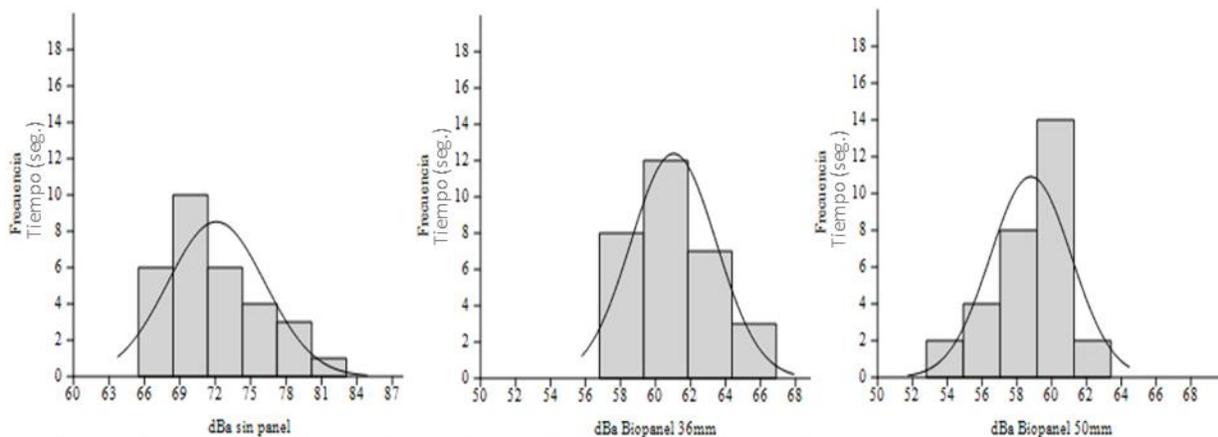


Figura 12. Curva dBa

Soprema (2019) cuenta con un aislante acústico sintético con base polimérica de alta densidad, sin asfalto, viscoelástica y de gran adaptabilidad, que como elemento acústico los decibeles transmitidos no son mayores a 50 dBa y 55 dBa.

CAPITULO V

CONCLUSIONES

- La corteza de *Eucalyptus globulus* **Labill**, presenta lignina en mínimas cantidades (es ignífuga), además al tener bajo contenido de azufre no emite sustancias toxicas, por lo cual es óptima para la fabricación de paneles termo-acústicos.
- Para la elaboración del panel los chips de corteza deben ser entre 1.71 y 4.06 mm, con el 6.17% de contenido de humedad, homogeneidad en cuanto a la distribución del material; y temperaturas entre 150 y 180 °C, lo cual provee características competitivas al producto.
- Dentro de los ensayos realizados, el de resistencia a la tracción tuvo valor de 0.85 Kg/cm² que es menor a la resistencia de un panel tradicional, sin embargo, las otras características encontradas como: alta resistencia a la humedad, buena aislación acústica y térmica, además de medianamente resistente al fuego, lo hacen apto para la elaboración de paneles aislantes termo - acústicos que podrían sustituir a los aislantes tradicionales dentro de la construcción.

CAPITULO VI

RECOMENDACIONES

- Se recomienda impulsar la generación de más aplicaciones utilizando los resultados obtenidos en cada paso de la investigación propuesta, generando nuevos y/o eficientes métodos de procesamiento y obtención de productos de biomasa forestal.

- Se recomienda realizar un análisis de vibraciones el cual permitirá conocer las características estructurales que presentaría en panel.

- Se recomienda adquirir equipos para estudios térmicos y acústicos especializados en madera y afines para el laboratorio de Anatomía de Maderas y Xiloteca de la UTN, para continuar con estudios de esta índole.

CAPITULO VII

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Meszaros et al. (2004). Comparative study of the thermal behavior of wood and bark of young shoots obtained from an energy plantation.
- Abreu, L. C. (2016). *“Biomasa: Alternativa sustentable para la producción de Biogás.”* Universidad de Pinar del Río Carlos Luis Urbáez Méndez.
- AENOR. (2016). Obtenido de <http://www.aenor.es/aenor/inicio/home/home.asp>
- Apa, W. (2015). *Guía de Productos de madera de ingeniería.*
- ASTM . (1898). Obtenido de <https://www.astm.org/>
- Atuesta & Sierra. (2015). Caracterización físico-química de pellets producidos a partir de mezclas 50/50 carbón bituminoso/madera residual.
- Barroso, M. (2010). *Pretratamiento de Biomasa Celulósica.* Obtenido de http://oa.upm.es/10559/1/MIGUEL_BARROSO_CASILLAS.pdf
- Basterra, A et al. (2006). TÉCNICAS DE ENSAYO PSEUDO NO DESTRUCTIVAS EN MADERA ESTRUCTURAL MEDIANTE EXTRACCIÓN DE TORNILLOS.
- Brown, R. (2011). Thermochemical processing of biomass. 24.
- Bun-Ca. (2002). *Manuales sobre energía renovable: Biomasa.* Obtenido de Fundacion red de energia: <http://www.bun-ca.org/site/>
- Castells, E. (2012). Biomasa y bioenergía. Obtenido de <https://www.librerianacional.com/pagina=producto&libro=9788499691244&autor=162013&editorial=1243>
- Claude et al. (2008). Efectos del contenido de corteza y la geometría de las partículas en las propiedades físicas y mecánicas del tablero de partículas hecho de abeto negro y temblorosa corteza de álamo. *Forest Products Journal.*
- Coronel, E. (1994). Fundamentos de las propiedades físicas y mecánicas de las maderas. El Liberal.
- Cosentino et al. (2011). Forma y tamaño de las partículas y su incidencia en el resultado del Método de Ensayo ASTM C-1260. *Scielo.*
- CSIC. (2007). *Consejo Superior Investigaciones Científicas.* Obtenido de <http://www.csic.es>

- Dilluns. (30 de Diciembre de 2013). *FIBRAS de MADERA - Aislante*. Obtenido de <http://bioconstruye.blogspot.com/2013/12/fibras-de-madera-aislante.html>
- Eco Agricultor. (2003). *Aislantes térmicos naturales para el hogar*. Obtenido de <https://www.ecoagricultor.com/aislantes-termicos-naturales-para-el-hogar/>
- Ecuador Forestal. (2007). *Planeacion y Estrategia*.
- EcuRed. (2014). Aislamiento acústico.
- EcuRed. (2018). *Granulometría*. Obtenido de <https://www.ecured.cu/Granulometr%C3%ADa>
- Enma Manals, et al. (2011). ANÁLISIS TERMOGRAVIMETRICO Y TÉRMICO.
- Eroski. (2012). *Energía de la biomasa*. Obtenido de http://agrega.juntadeandalucia.es/repositorio/24092012/8c/es-an_2012092413_9141050/ODE-bbd3fe0f-8c9e-3609-bb73-f2a6faf94b77/4_energa_de_la_biomasa.html
- Fernando Sanz & Gonzalo Piñeiro . (2017). *Aprovechamiento de la Biomasa Forestal producida por la Cadena Monte-Industria*.
- Geldres et al. (2006). Biomasa de Eucalyptus nitens de 4-7 años de edad en un rodal de la X Región, Chile.
- Goldsack L. (2007). Obtenido de La Madera como material: file:///Panel.%20ter/01_Modulo_AILANTE.pdf
- GoogleSites. (2017). *Tecnología de la madera*. Obtenido de <https://sites.google.com/site/tecnologiadelamadera/propiedades-fisicas>
- Gutex. (2004). *Tablero Aislante de madera*. Obtenido de <http://www.bioma.es/aislamientos.html>
- Gutierrez et al. (2001). VARIACIÓN DE LA DENSIDAD, LA HUMEDAD, EL DURAMEN Y LA CORTEZA CON LA ALTURA EN EL TRONCO DE PINO LARICIO.
- Hernandez, J. (2014). *CARACTERÍSTICAS TÉRMICAS DE LOS MATERIALES*. Obtenido de <https://pedrojhernandez.com/2014/04/09/caracteristicas-termicas-de-los-materiales/>
- Husch et al. (2003). *Forest Mensuration*.
- IDAE. (2007). *Energía renovable*. Obtenido de “Energía de la biomasa producción eléctrica y cogeneración”: www.apler.es/index.php/info/documentos
- INAMHI. (2019). *Biblioteca*. Obtenido de <http://www.serviciometeorologico.gob.ec/>

- INER. (2014). *Atlas bioenergético de la república del Ecuador*. Obtenido de https://www.google.com.ec/search?q=atlas+bioenerg%C3%A9tico+del+ecuador&rlz=1C1AVNE_enEC726EC726&oq=atlas+bioner&aqs=chrome.1.69i57j0j69i59.4424j0j9&sourceid=chrome&ie=UTF-8
- INER. (2016). *Biblioteca*. Obtenido de Ministerio de Electricidad y Energía Renovable: <http://www.energia.gob.ec/biblioteca/>
- Inerco. (2012). ¿Cómo hacer un ensayo de aislamiento acústico a ruido aéreo entre recintos? <http://www.inercoacustica.com/acustipedia/item/249-%C2%BFc%C3%B3mo-hacer-un-ensayo-de-aislamiento-ac%C3%BAstico-a-ruido-a%C3%A9reo-entre-recintos?>
- IVE. (2018). *Productos y materiales propiedades de aislantes termicos para rabilitacion energetica*. Obtenido de http://www.five.es/descargas/archivos/P1_portada.pdf
- Jiancheng et al. (2014). Experimental study on NOx reduction from staging combustion of high volatile pulverized coals.
- Lacedelli, A. (2016). *La construcción en madera ofrece grandes ventajas respecto*.
- LAEV. (2017). *Laboratorio de nuevos materiales EPN*.
- Larmore, F. (1959). Influence of specific gravity and resin content on properties of particleboard.
- Linseis. (2018). *Análisis Termogravimétrico (TGA)*. Obtenido de <https://www.linseis.com/es/nuestros-productos/termogravimetria/>
- López. (2000). *Dasometria*.
- Maderea. (2015). *Propiedades y especies para madera estructural II: Propiedades mecánicas de la madera*. Obtenido de <https://www.maderea.es/propiedades-y-especies-para-madera-estructural-ii-propiedades-mecanicas-de-la-madera/>
- MAE. (2004). Obtenido de <http://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/06/Ley-Forestal-y-de-Conservacion-de-Areas-Naturales-y-Vida-Silvestre.pdf>
- MAE. (2012). *Legislación secundaria*.
- MAG. (2016). Mapa de ubicación de propuestas del programa. En *Programa de incentivos para la reforestación con fines comerciales* (págs. 8-9).
- MAG. (2018). *Volumen aprovechado m3*.
- Margarida, M. (1984). *Aislante Termico*.

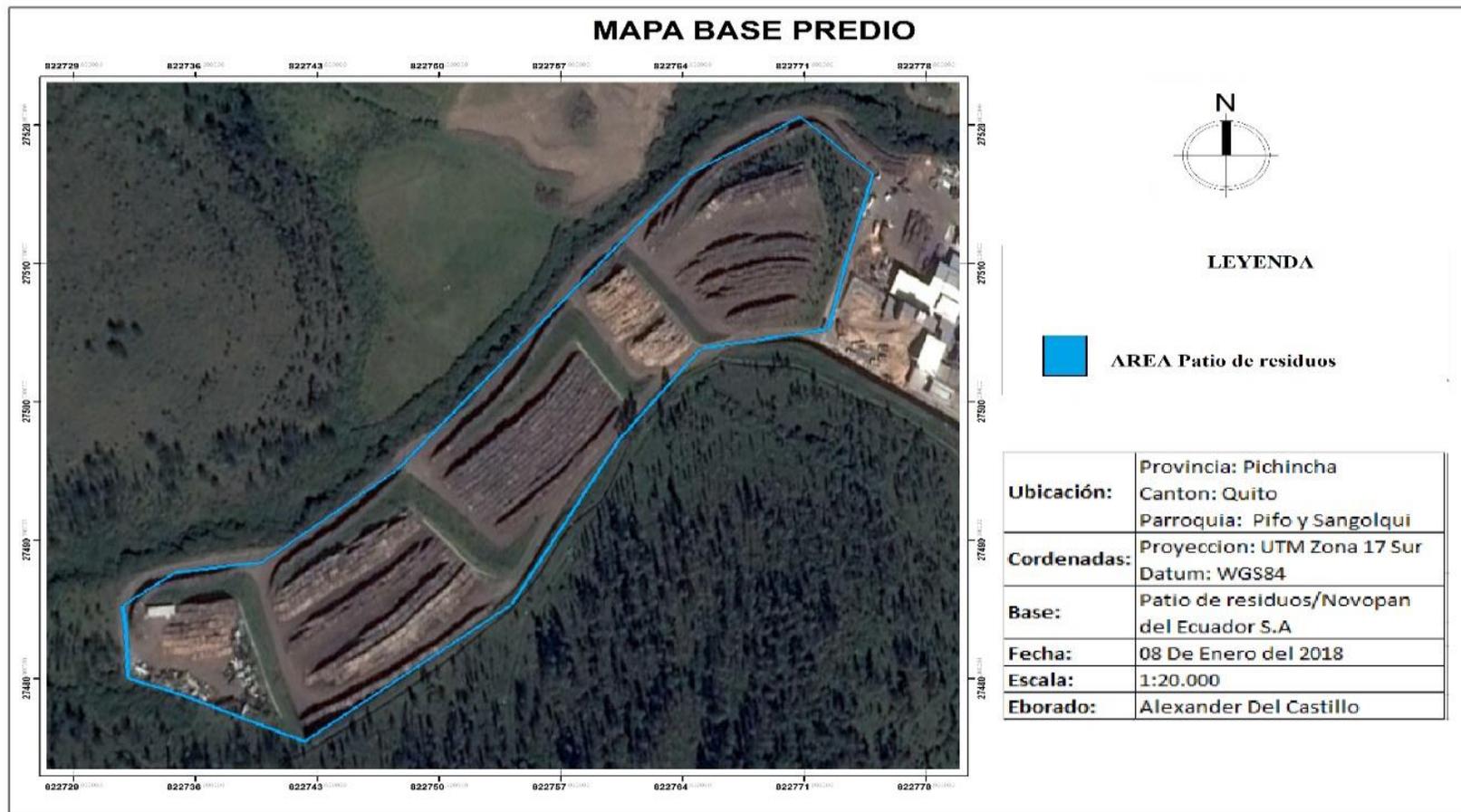
- Martinez et al. (2015). Eficiencia energética en las instalaciones de calefacción. Ediciones Paraninfo S.A. Obtenido de <https://books.google.com.ec/books?id=koO5CgAAQBAJ&pg=PA53&lpg=PA53&dq=Mart%C3%ADnez+%26+Gil+aplicacion+de+la+biomasa&source=bl&ots=7aFDNBPIGP&sig=6jjRrYbZ6OKGlfWXhEXJuW053PY&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwiPuJr5963XAhXCMYKHAhlB4UQ6AEIJTAA#v=onepage&q=Mart%C3%ADne>
- Medina et al. (2011). ANÁLISIS TERMOGRAVIMETRICO Y TÉRMICO DIFERENCIAL DE DIFERENTES BIOMASAS VEGETALES.
- Mercier et al. (2011). *Los aislamientos térmicos naturales: construcción ecológica y eficiencia energética*. Obtenido de http://www.t3e.info/pdf/Publications/2011_CIER_Cuba_Aislamientos.pdf
- Muñoz. (2018). Aislante acústico.
- Nogues. (Abril de 2010). *Jornadas de biomasa. ZaragozaEspaña*. Obtenido de Ciclo energías renovables: http://www.agenergia.org/files/resourcesmodule_Gralidades_biomasa.pdf
- Novopan S.A. (2018). Reporte Laboratorio.
- Opex, E. (2018). *BUN-CA*. Obtenido de Biomasa: <http://www.bun-ca.org/site/>
- Pack-abc. (2016). *El Poliestireno Expandido – EPS*. Obtenido de www.anape.es
- Palacios et al. (2018). *Innovacion para la construccion sostenible*. COMAFORS.
- Pinilla. (2017). *Aislantes termicos*. Obtenido de http://oa.upm.es/47071/1/TFG_Palomo_Cano_Marta.pdf
- Poblete, H & Sanchez, J. (1991). Tableros con corteza de *Pinus radiata*.
- Prado & Barros. (1989). *Eucalyptus principios de silvicultura y manejo*. INFOR/CORFO.
- Romanelli et al. (2017). *Química de la biomasa*. edulp.
- Rougeron, C. (1977). Aislamiento acústico y térmico en la construcción. Editores tecnicos asociados S.A. Obtenido de <https://books.google.com.ec/books?id=l62bH8f9AJYC&pg=PA51&lpg=PA51&dq=Rougeron+AISLANTE+TERMICO&source=bl&ots=8cuohMNYkO&sig=u5ZZw8jVM-oLRBPIq4O1Fr99TNM&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwixjJaD-a3XAhWKOSYKHSnOBQwQ6AEIKDAA#v=onepage&q=Rougeron%20AISLANTE%20TERMICO&f=f>

- Salvador, A. R. (2010). *APROVECHAMIENTO DE LA BIOMASA COMO FUENTE DE ENERGÍA ALTERNATIVA A LOS COMBUSTIBLES FÓSILES*. Obtenido de <http://www.rac.es/ficheros/doc/00979.pdf>
- Sears. (2000). *Serway. Physics for Scientists and Engineers*. Obtenido de <http://didactica.fisica.uson.mx/tablas/conductermica.htm>
- Sierra et al. (2011). Pellets de Biomasa y sus aplicaciones.
- Skoog et al. (2002). *Caracterizacion de los materiales*.
- Soprema. (2019). *Aislante acustico*. Obtenido de <https://www.soprema.es/es/product/aislamiento-acustico/tecsound/autoadhesiva/tecsound-sy>
- Subero, E. (2010). *Escuela Universitaria*. Obtenido de Caracterización de los combustibles sólidos: <http://zagan.unizar.es/TAZ/EUITIZ/2010/5357/TAZ-PFC-2010-348> pdf
- Ubidia, J. (2010). DISEÑO DE COMPONENTES CONSTRUCTIVOS.
- Velasco R et al. (2014). *Construcción y calibración nuevo aparato de medición de conductividad térmica válido para composites basados en residuos de Biomasa*. Obtenido.
- Yunus, A. (2007). TRANSFERENCIA DE CALOR Y MASA. MCGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. Obtenido de https://www.u-cursos.cl/usuario/cfd91cf1d8924f74aa09d82a334726d1/mi_blog/r/Transferencia_de_Calor_y_Masa_-_Yunus_Cengel_-_Tercera_Edicion.pdf
- Zambrano A. (2016). ESTUDIO DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICO-MECÁNICAS DE BLOQUES DE HORMIGÓN CON FIBRA DE CABUYA.

CAPITULO VIII

ANEXOS

8.1 Anexo A. Mapa base Patio de residuos Planta Industrial Novopan S.A.



8.2 Anexo B. Hoja de laboratorio

Fecha:		Turno:		OP:	Espesor Nominal: (mm)	Peso (Kg/m ²)	SET: REAL:	Hora:		V _w (m/min)		VAPOR								
												S =	T =	H =						
												CONDICIONES AMBIENTE								
												T Ambiente °C		% H Ambiente						
Muestra No.	TRACCION (Kg/cm ²)		COEF. ELASTICIDAD		FLEXION (Kg/cm ²)		DENSIDAD (Kg/m ³)			ESPONJAMIENTO (%)		FACTOR X RESINA								
	CI	CE	e (cm)	E(N/mm ²)	P (Kgf)	F	Peso (gr)	Vol (cm ³)	D	e inic. (mm)	e final (mm)	CI	CE	Hora						
1																				
2																				
3																				
4																				
5																				
6																				
7																				
8																				
9																				
10																				
11																				
12																				
Prom										% Eapon		T 1 (°C)	T 2 (°C)	T 3 (°C)	T 4 (°C)					
										H:	H:									
TAMIZ # (mm)	TAMIZADO SILO #5			TAMIZ # (mm)	TAMIZADO SILO #6			% CONTENIDO HUMEDAD TABLERO				% COLOR								
	Peso	%	% acum		Peso	%	% acum	Muestra	#1	#2	Promed.	CI	CE	Hora						
4.06			> 1	1.240		> 1														
2.47				1.000																
1.71				0.710																
1.24				0.514																
1.00				0.217		< 1														
0.71			< 1	0.131																
FOFUDO				FOFUDO																
Total				Total																
												DENSIDAD VIRUTA Kg/m ³			AGARRS TORNELO (Kgf)					
												Muestra	C. INTERNA		C. EXTERNA		Muestra	CE	CI	
												#					161			
												AMPERAJE		SILO #7	CAPA EXTERNA		3/4			
												SLA/Tnh	% POLVO		%		5/5			
												CL A/Tnh					Prom. Total			
												SPRAY g/m ²		SET POINT HUMEDADES VIRUTA				% CAPAS		
												C. INF	% HC EXTERNA				SL/CL			
												C. SUP	% HC INTERNA				SL 1/SL 2			

ELABORADO POR _____ REVISADO POR _____

RGC-01

Elaborado por: Novopan del Ecuador S.A

8.3 Anexo C. Costos de elaboración de prototipo del panel

Tabla 1.

Costo unitario elaboración del prototipo

Panel (mm)	Total \$
50	52.11
36	51.91
15	51.37

Tabla 2.

Costo unitario 1.20 m² a la venta del panel

Panel (mm)	Total \$
50	76.98
36	73.21
15	62.89

8.4 Anexo D. Costos materiales tradicionales de construcción

Tabla 1.

Costo unitario m² ladrillo

Costo unitario m ² ladrillo				
Ladrillo \$	Cemento \$	Arena \$	Mano de obra \$	Total \$
8.75	8.50	10.91	15.0	43.16

Tabla 2.

Costo unitario m² bloque

Costo unitario m ² bloque				
Bloque \$	Cemento \$	Arena \$	Mano de obra \$	Total \$
4.20	8.50	10.91	15.0	38.61

Tabla 3.*Costos de aislantes térmicos tradicionales m²*

Aislante térmico	Precio \$
Poliuretano	20.17
Lana de vidrio	7.02
Lana de roca	16.81
Lana de oveja	22.65
Fibra de madera	22.65
Fibra de cáñamo	33.97

Fuente: (Pinilla, 2017).

8.5 Anexo E. Fotografías



Ilustración 1. Clasificación de la corteza de *Eucalyptus*



Ilustración 2. Secado de la corteza de *Eucalyptus*



Ilustración 3. Triturado de la corteza de *Eucalyptus*



Ilustración 4. Caracterización de la corteza de *Eucalyptus*



Ilustración 5. Análisis granulométrico



Ilustración 6. Mezcla de ingredientes para elaboración de panel



Ilustración 7. Mezcla de ingredientes para elaboración de panel



Ilustración 8. Prensado de panel



Ilustración 9. Fraguado del panel



Ilustración 10. Desmolde



Ilustración 11. Panel Termo-acústico



Ilustración 12. Dimensionado de probetas



Ilustración 13. Ensayo de flexión



Ilustración 14. Ensayo de lijado



Ilustración 15. Ensayo de tornillo



Ilustración 16. Ensayo de tracción



Ilustración 17. Ensayo de expansión



Ilustración 18. Ensayo acústico



Ilustración 19. Ensayo de fuego



Ilustración 20. Ensayo térmico