

# UCUENCA

## Universidad de Cuenca

Facultad de Ingeniería

Carrera de Ingeniería Civil

### **Análisis de las propiedades y beneficios del uso de madera plástica como material sostenible en el área de la construcción**

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero Civil

**Autor:**

María Paz Peñafiel Vicuña

Ana Carolina Serrano Tapia

**Director:**

Daniel Estuardo Mogrovejo Carrasco

ORCID:  0000-0002-5797-1153

**Cuenca, Ecuador**

2024-09-04

## Resumen

En busca de una mejoría sustentable en el área de la construcción, esta investigación explora alternativas innovadoras que promuevan prácticas más respetuosas con el medio ambiente y económicamente viables. El estudio se centra en la evaluación de la madera plástica como material de construcción potencialmente sostenible, comparándola con la madera natural tradicional. Se llevaron a cabo ensayos normalizados y experimentales, incluyendo pruebas de corte, flexión, compresión, resistencia al fuego y desgaste, para evaluar el comportamiento mecánico y la durabilidad de ambos materiales. La metodología experimental incorporó la exposición de las muestras a diversas condiciones ambientales simuladas, tales como inmersión en agua dulce y salada, enterramiento y exposición al aire libre. Este enfoque permitió una evaluación de la respuesta de los materiales a diferentes escenarios ambientales, proporcionando datos valiosos sobre su desempeño en condiciones reales de uso. Un aspecto fundamental de este estudio es el análisis del impacto ambiental y la sostenibilidad de ambos materiales. Para lograr este objetivo, se utilizó el método de matrices de Leopold. La madera plástica, fabricada a partir de residuos plásticos, representa un ejemplo sobresaliente de economía circular, contribuyendo significativamente a la reducción de desechos y a la reutilización de recursos. En contraste, se examina críticamente la sostenibilidad de la madera natural, considerando los efectos negativos de la deforestación y las prácticas de tala no sostenibles. La investigación aspira a proporcionar información para motivar la adopción de materiales y técnicas más sostenibles, presentando aplicaciones prácticas donde se pretende simular el uso de cada tipo de madera.

*Palabras clave:* madera plástica, madera natural, análisis del ciclo de vida, matriz de Leopold, ensayos físicos



El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Cuenca ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por la propiedad intelectual y los derechos de autor.

**Repositorio Institucional:** <https://dspace.ucuenca.edu.ec/>

### Abstract

In search of sustainable improvement in the construction field, this investigation explores innovative alternatives that promote more environmentally friendly and economically viable practices. The study focuses on the evaluation of plastic wood as a potentially sustainable construction material, compared to traditional natural wood. Standardized and experimental tests, including shear, bending, compression, fire resistance, and wear tests, were conducted to evaluate the mechanical behavior and durability of both materials. The experimental methodology incorporated the exposure of samples to simulate environmental stressors, such as immersion in fresh and saltwater, burial, and outdoor exposure. This approach allowed for an assessment of the materials' responses to different environmental scenarios, providing valuable data on their performance in real-use conditions. This study focuses on the analysis of the environmental impact and sustainability of both materials. To achieve this objective, the Leopold Matrix method was used. Plastic wood, manufactured from plastic waste, represents a prime example of a circular economy, significantly contributing to waste reduction and resource reuse. In contrast, the sustainability of natural wood is critically examined, considering the negative effects of deforestation and unsustainable logging practices. The research aims to provide information to motivate the adoption of more sustainable materials and techniques, showing practical applications where the use of each type of wood is intended to be simulated.

*Keywords: plastic wood, wood, life cycle assessment, Leopold matrix, physical tests*



The content of this work corresponds to the right of expression of the authors and does not compromise the institutional thinking of the University of Cuenca, nor does it release its responsibility before third parties. The authors assume responsibility for the intellectual property and copyrights.

## Índice de contenido

<b>1. Capítulo 1. Introducción y Objetivos</b>	<b>15</b>
1.1. Antecedentes	15
1.2. Planteamiento del problema	18
1.3. Objetivo general	19
1.4. Objetivos específicos	19
1.5. Organización de capítulos	19
<b>2. Capítulo 2: Marco Teórico</b>	<b>21</b>
2.1. Introducción	21
2.2. Antecedentes e investigaciones sobre la madera plástica	23
2.3. Aplicaciones de la madera plástica en Ecuador	25
2.4. Envejecimiento de la madera natural en Ecuador	28
2.5. Análisis de Ciclo de Vida y Costos	31
2.6. Normas y Teorías	32
2.6.1. Flexión Estática	32
2.6.2. Compresión Paralela a la Fibra	33
2.6.3. Corte paralelo al grano	34
2.6.4. Abrasión y desgaste	35
2.6.5. Tenacidad	35
2.7. Conclusiones	35
<b>3. Capítulo 3: Metodología y Materiales</b>	<b>37</b>
3.1. Introducción	37
3.2. Materiales y preparación de muestras	37
3.2.1. Materiales	37
3.2.2. Preparación de muestras.	38
3.2.3. Métodos de laboratorio.	44
3.3. Conclusiones	47
<b>4. Capítulo 4: Resultados de Análisis de los ensayos de laboratorio</b>	<b>48</b>
4.1. Introducción	48
4.2. Resultados Ensayos de Corte	48
4.3. Resultados Ensayos de Flexión	58
4.4. Resultados Ensayos Compresión	69

4.5.	Resultados Ensayos Físicos.....	88
4.6.	Análisis de los resultados.....	94
4.7.	Conclusiones.....	100
5.	Análisis de Impacto Ambiental y Análisis de Ciclo de Vida.....	102
5.1.	Introducción.....	102
5.2.	Análisis de Impacto Ambiental.....	102
5.2.1.	Matriz de Leopold.....	102
-	Matriz de Leopold para madera plástica.....	103
-	Matriz de Leopold para madera natural.....	108
5.3.	Análisis de Ciclo de Vida.....	114
5.4.	Resultados y Conclusiones.....	117
6.	Caso de aplicación y Análisis de Precios Unitarios (APU's).....	119
6.1.	Introducción.....	119
6.2.	Definición del caso Matrices comparativas y caso de aplicación.....	119
6.3.	Presupuesto y Análisis de Precios Unitarios.....	126
6.3.	Estado actual del caso de estudio y propuestas de diseño.....	128
7.	Conclusiones y Recomendaciones.....	136
7.1.	Conclusiones.....	136

## Índice de figuras

Figura 1 Producción global anual de plástico en millones de toneladas (Statista Research Department, 2023) .....	16
Figura 2 Diagrama de flujo para la fabricación de la madera plástica (Zorro & Ramírez, 2022) .....	22
Figura 3 Casa en Buenos Aires fabricada con madera plástica (Faraday, 2020) .....	23
Figura 4 Bancas de madera plástica en el Malecón 2000 (Recicladora Barahona, n.d.) .....	26
Figura 5 Caminerías de madera plástica en el Malecón del Salado (Recicladora Barahona, n.d.) .....	26
Figura 6 Rejillas de madera plástica - Ingenio Valdez (Recicladora Barahona, n.d.) .....	26
Figura 7 Juegos infantiles – Urbanización Metrópolis II (Recicladora Barahona, n.d.) .....	26
Figura 8 Senderos en Isla Santay (Recicladora Barahona, n.d.) .....	27
Figura 9 Macetas de madera plástica .....	27
Figura 10 Implantación de mobiliario en Cuenca.....	27
Figura 11 Muelle en la laguna Toreadora.....	28
Figura 12 Silla en Corredores Verdes de Cuenca .....	28
Figura 13 Madera en la entrada del Edificio Administrativo - Campus Balzay .....	29
Figura 14 Bancas de madera natural en deterioro - San Blas .....	29
Figura 15 Bancas de madera plástica – Madera Verde Ecuador.....	29
Figura 16 Fisuras en juegos infantiles de madera natural .....	30
Figura 17 Aparición de musgo en madera natural.....	30
Figura 18 Residuos de madera del edificio de la Facultad de Ingeniería - Universidad de Cuenca. ....	30
Figura 19 Tablones de madera natural TECA y madera Plástica Disecoarvol.....	38
Figura 20 Tratamiento de cemento acuoso para madera natural .....	38
Figura 21 Proceso de corte de los tablones de madera plástica. ....	39
Figura 22 Proceso de corte de muestras de madera natural.....	39
Figura 23 Muestra de madera plástica en condición sumergida.....	40
Figura 24 Muestra de madera natural en condición sumergida el primer día .....	40
Figura 25 Muestra de madera natural en condición sumergida el día de ensayo .....	40
Figura 26 Comparación de características de la madera plástica sumergida vs. madera plástica con tratamiento sumergida.....	40
Figura 27 Muestras de madera natural (café claro), madera natural con tratamiento (negra) y plástica bajo tierra (café oscuro). ....	41
Figura 28 Muestras de madera plástica, natural y natural con tratamiento de cemento acuoso bajo tierra .....	41
Figura 29 Esquema con variables de las dimensiones de probetas para ensayo de corte paralelo al grano .....	42
Figura 30 Esquema con variables de las dimensiones de probetas para ensayo de compresión paralela a la fibra .....	42
Figura 31 Esquema con variables de las dimensiones de probetas para ensayo de flexión estática .....	42
Figura 32 Esquema con variables de las dimensiones de resistencia al fuego .....	42
Figura 33 Derecha. Muestra de madera natural para ensayo de flexión estática .....	43
Figura 34 Muestras de madera plástica para el ensayo de compresión paralela a la fibra ..	43

Figura 35 Muestras de madera natural para el ensayo de compresión paralela a la fibra ...	43
Figura 36 Muestras de madera natural y plástica para el ensayo de compresión paralela a la fibra.....	43
Figura 37 Muestras de madera natural y plástica para los ensayos de corte paralelo al grano - Vista Frontal .....	44
Figura 38 Muestras de madera natural y plástica para los ensayos de corte paralelo al grano – Vista Planta.....	44
Figura 39 Muestras de madera natural y plástica para el ensayo de resistencia a la abrasión. ....	44
Figura 40 Muestras de madera natural y plástica para el ensayo de resistencia al fuego ...	44
Figura 41 Madera plástica en equipo de ensayo de corte paralelo al grano .....	45
Figura 42 Madera natural en equipo de ensayo de corte paralelo al grano .....	45
Figura 43 Madera plástica en equipo de ensayo de compresión paralela a la fibra.....	46
Figura 44 Madera plástica en equipo de ensayo de flexión estática.....	46
Figura 45 Proceso de ensayo de resistencia al fuego en madera natural.....	46
Figura 46 Muestra de madera plástica en ensayo de resistencia al fuego.....	46
Figura 47 Proceso de ensayo de resistencia a la abrasión .....	46
Figura 48 Proceso de ensayo de resistencia a la abrasión .....	46
Figura 49 Muestra de los ensayos de corte en madera natural - Vista lateral .....	52
Figura 50 Muestra de los ensayos de corte en madera natural - Vista trasera .....	52
Figura 51 Muestra de los ensayos de corte en madera plástica - Vista lateral .....	52
Figura 52 Muestra de los ensayos de corte en madera plástica - Vista trasera .....	52
Figura 53 Muestra de los ensayos de corte en madera plástica - Vista lateral .....	53
Figura 54 Ensayos de flexión en madera natural .....	61
Figura 55 Ensayos de flexión en madera natural .....	61
Figura 56 Ensayos de flexión en madera plástica .....	61
Figura 57 Ensayos de flexión en madera plástica .....	61
Figura 58 Muestras de los ensayos de flexión en madera natural.....	62
Figura 59 Ensayos de compresión en madera plástica .....	73
Figura 60 Ensayos de compresión en madera plástica .....	73
Figura 61 Ensayos de compresión en madera natural .....	73
Figura 62 Ensayos de compresión en madera natural .....	73
Figura 63 Ensayos de compresión en madera natural .....	74
Figura 64 Ensayos de compresión en madera natural .....	74
Figura 65 Resultados de ensayos de compresión en madera plástica .....	74
Figura 66 Resultados de ensayos de compresión en madera plástica .....	74
Figura 67 Resultados de ensayos de compresión en madera natural .....	75
Figura 68 Resultados de ensayos de compresión en madera natural .....	75
Figura 69 Muestra ensayada (derecha) y sin ensayar (izquierda) a compresión de madera natural.....	76
Figura 70 Resultados de resistencia al fuego de madera natural (izquierda) y madera plástica (derecha) .....	88
Figura 71 Resultado de madera plástica, la muestra se sublima.....	88
Figura 72 Resultado de madera natural, la muestra en carbonización.....	88
Figura 73 Resultados de ensayo de resistencia a la abrasión.....	90
Figura 74 Diagrama de Procesos de la Madera Plástica.....	104
Figura 75 Diagrama de Procesos de la Madera Natural.....	109

Figura 76 Tiempo empleado en ciclo de vida de estiba de madera plástica .....	116
Figura 77 Vista superior del puente Cesar Dávila Andrade – Estado Actual .....	129
Figura 78 Vista sobre el río Tomebamba del puente Cesar Dávila Andrade – Estado Actual .....	129
Figura 79 Vista de las gradas del puente Cesar Dávila Andrade – Estado Actual .....	130
Figura 80 Vista sobre el río Tomebamba del puente Cesar Dávila Andrade – Estado Actual .....	130
Figura 81 Vista superior del puente Cesar Dávila Andrade - Madera Plástica.....	131
Figura 82 Vista sobre el río Tomebamba del puente Cesar Dávila Andrade – Madera Plástica .....	131
Figura 83 Vista de las gradas del puente Cesar Dávila Andrade – Madera Plástica .....	132
Figura 84 Vista sobre el río Tomebamba del puente Cesar Dávila Andrade – Madera Plástica .....	132
Figura 85 Vista superior del puente Cesar Dávila Andrade – Madera Natural .....	133
Figura 86 Vista sobre el río Tomebamba del puente Cesar Dávila Andrade – Madera Natural .....	133
Figura 87 Vista de las gradas del puente Cesar Dávila Andrade – Madera Natural .....	134
Figura 88 Vista sobre el río Tomebamba del puente Cesar Dávila Andrade – Madera Natural .....	134

**Índice de gráficas**

Gráfica 1 Comparación de resultados del ensayo de Corte en muestras de Madera Natural vs Madera Plástica al Aire Libre .....	49
Gráfica 2 Comparación de resultados del ensayo de Corte en muestras de Madera Natural vs Madera Plástica en condiciones secas. ....	49
Gráfica 3 Comparación de resultados del ensayo de Corte en muestras de Madera Natural vs Madera Plástica Bajo Tierra. ....	50
Gráfica 4 Comparación de resultados del ensayo de Corte en muestras de Madera Natural vs Madera Plástica en condiciones Húmedas .....	50
Gráfica 5 Comparación de resultados del ensayo de Corte en muestras de Madera Natural vs Madera Plástica bajo Agua de Sal.....	51
Gráfica 6 Comparación de resultados del ensayo de Corte en muestras de Madera Natural vs Madera Natural tratada Bajo Tierra. ....	51
Gráfica 7 Comparación de resultados del ensayo de Flexión en muestras de Madera Natural vs Madera Plástica en condiciones Húmedas. ....	59
Gráfica 8 Comparación de resultados del ensayo de Flexión en muestras de Madera Natural vs Madera Plástica en condiciones Secas. ....	59
Gráfica 9 Comparación de resultados del ensayo de Flexión en muestras de Madera Natural vs Madera Plástica en condiciones Bajo Tierra. ....	60
Gráfica 10 Comparación de resultados del ensayo de Flexión en muestras de Madera Natural vs Madera Natural tratada Bajo Tierra. ....	60
Gráfica 11 Comparación de resultados del ensayo de Compresión en muestras de Madera Natural vs Madera Plástica en condiciones al Aire Libre. ....	69
Gráfica 12 Comparación de resultados del ensayo de Compresión en muestras de Madera Natural vs Madera Plástica en condiciones Secas. ....	70
Gráfica 13 Comparación de resultados del ensayo de Compresión en muestras de Madera Natural vs Madera Plástica bajo Agua de Sal. ....	70
Gráfica 14 Comparación de resultados del ensayo de Compresión en muestras de Madera Natural vs Madera Plástica en condiciones Húmedas.....	71
Gráfica 15 Comparación de resultados del ensayo de Compresión en muestras de Madera Natural vs Madera Plástica en condiciones Bajo Tierra.....	71
Gráfica 16 Comparación de resultados del ensayo de Compresión en muestras de Madera Natural vs Madera Natural tratada Bajo Tierra. ....	72
Gráfica 17 Bajo Tierra Madera Plástica y Madera Natural.....	98
Gráfica 18 Ensayo de Flexión Madera Plástica y Madera Natural .....	99

Gráfica 19 Ensayo de Flexión Madera Plástica y Madera Natural ..... 100

## Índice de tablas

Tabla 1 Porcentajes de materiales reciclados en Ecuador (Rodriguez & Gamba, 2008) .....	17
Tabla 2 Siglas utilizadas para nombrar a las muestras de los ensayos. ....	39
Tabla 3 Número de ensayos para flexión estática, compresión paralela a la fibra, corte paralelo al grano, desgaste y resistencia al fuego.....	41
Tabla 4 Resultados del Ensayo de Corte de Madera Plástica .....	54
Tabla 5 Resultados del Ensayo de Corte de Madera Natural .....	56
Tabla 6 Resultados de ensayos a flexión de madera plástica .....	63
Tabla 7 Resultados ensayo de flexión madera natural.....	66
Tabla 8 Resultados del Ensayo de Compresión de Madera Plástica.....	77
Tabla 9 Resultados del Ensayo de Compresión de Madera Natural.....	82
Tabla 10 Resultados de resistencia al fuego de la Madera Natural.....	89
Tabla 11 Resultados de resistencia al fuego de la Madera Plástica .....	89
Tabla 12 Resultados de abrasión - Madera Natural .....	90
Tabla 13 Resultados de abrasión - Madera Plástica .....	91
Tabla 14 Análisis de Resultados del Ensayo de Abrasión.....	92
Tabla 15 Análisis de Resultados del Ensayo de Resistencia al Fuego.....	93
Tabla 16 Análisis de Resultados del Ensayo de Compresión.....	94
Tabla 17 Análisis de Resultados del Ensayo de Flexión .....	96
Tabla 18 Análisis de Resultados del Ensayo de Corte .....	97
Tabla 19 Matriz de Identificación de Impactos Ambientales - Madera Plástica.....	104
Tabla 20 Codificación de la evaluación de impactos ambientales .....	104
Tabla 21 Matriz de Evaluación de Impactos Ambientales - Madera Plástica .....	105
Tabla 22 Matriz de Valoración de magnitud e importancia – Calidad de Aire - Madera Plástica .....	105
Tabla Matriz de Valoración de magnitud e importancia – Percepción de paisaje - Madera Plástica .....	105
Tabla Matriz de Valoración de magnitud e importancia – Vibración - Madera Plástica .....	106
Tabla Matriz de Valoración de magnitud e importancia – Ruido - Madera Plástica .....	106
Tabla Matriz de Valoración de magnitud e importancia – Fauna y Flora Terrestre - Madera Plástica .....	106
Tabla Matriz de Valoración de magnitud e importancia – Empleo - Madera Plástica.....	106
Tabla 28 Matriz de Análisis de severidad de impactos ambientales – Actividades - Madera Plástica .....	107

Tabla Matriz de Análisis de Agregación de Impactos Ambientales – Actividades - Madera Plástica .....	107
Tabla Matriz de Identificación de Impactos Ambientales - Madera Natural.....	109
Tabla Matriz de Evaluación de Impactos Ambientales - Madera Natural .....	109
Tabla Matriz de Valoración de magnitud e importancia – Calidad de Aire - Madera Natural .....	110
Tabla Matriz de Valoración de magnitud e importancia – Percepción del Paisaje - Madera Natural .....	110
Tabla Matriz de Valoración de magnitud e importancia – Olores - Madera Natural .....	110
Tabla Matriz de Valoración de magnitud e importancia – Vibración - Madera Natural .....	111
Tabla Matriz de Valoración de magnitud e importancia – Ruido - Madera Natural .....	111
Tabla Matriz de Valoración de magnitud e importancia – Fauna y Flora Silvestre - Madera Natural .....	111
Tabla Matriz de Valoración de magnitud e importancia – Empleo - Madera Natural.....	112
Tabla Matriz de Análisis de severidad de impactos ambientales – Actividades - Madera Natural .....	112
Tabla Matriz de Análisis de Agregación de Impactos Ambientales – Actividades - Madera Natural .....	112
Tabla Matriz comparativa de Madera Natural y Madera Plástica.....	115
Tabla 42 Matriz Comparativa entre madera plástica, madera natural TECA y madera natural. ....	120
Tabla 43 Matriz de calificación para un muelle en una laguna. ....	122
Tabla Matriz de calificación para un puente peatonal.....	122
Tabla Matriz de calificación para una cabaña .....	123
Tabla Matriz de calificación para una pérgola .....	124
Tabla Matriz de calificación para un encofrado .....	124
Tabla Tabla comparativa de mejor madera para diferentes usos .....	125
Tabla Presupuesto referencial de alternativas de rehabilitación del puente César Dávila Andrade .....	128

### Dedicatoria

Esta tesis y título de Ingeniera Civil, los dedico con todo mi corazón:

A mis padres, por ser la base sólida sobre la que he construido mis sueños. Su amor, sacrificios y enseñanzas han sido cimientos de este logro.

A mi cuñis y mis hermanos, mis primeros compañeros de vida, por su apoyo constante y por creer en mi incluso cuando yo dudaba. Su presencia ha sido un faro guía en este viaje.

A mis queridos sobrinos, fuente inagotable de alegría y motivación. Sus sonrisas y abrazos han sido el mejor aliento en los momentos difíciles. Espero que este logro les inspire a perseguir a sus propios sueños con determinación.

A mi compañera de tesis, por su dedicación, compromiso y apoyo incondicional. Juntas hemos enfrentado desafíos, celebrado logros y aprendido mutuamente. Su amistad y colaboración han sido fundamental para el éxito de este proyecto.

Y a mí misma, por la perseverancia, esfuerzo y la pasión que he puesto en cada paso de este camino. Por las noches de estudio, los desafíos superados y la fuerza para levantarme después de cada tropiezo.

**María Paz Peñafiel**

A mi madre, pilar fundamental en mi vida, cuyo amor incondicional y apoyo constante me permitieron retomar y culminar mis estudios. Tu dedicación al cuidar de mis hijos y tu aliento fueron la fuerza que me impulsó a dar cada paso.

A la memoria de mi padre, cuya presencia espiritual me acompañó en este viaje. Tu legado, plasmado en tu biblioteca, encendió en mí la pasión por los números.

A mi compañero de vida y a nuestros hijos, Karen y Hugo, por su amor infinito y comprensión. Sus abrazos cálidos y palabras de aliento fueron mi refugio en los momentos difíciles, motivándome a perseverar.

A mis hermanos Cornelio, Marcela, Daniel, Gabriela y mis queridos sobrinos, por su interés constante y por compartir la alegría de cada logro alcanzado.

A mis tíos Hernán, Chela, Débora y Eddy, por su fe inquebrantable en mí y su generoso apoyo, tanto emocional como económico.

A Paz, mi compañera de tesis y amiga invaluable, cuya sinergia perfecta hizo posible la culminación de este desafío compartido. A mis jefes y compañeras de trabajo, fuente constante de ánimo y respaldo en mi camino académico.

Y finalmente, a mí misma, Ana Carolina, por la fortaleza y perseverancia demostradas en este arduo pero gratificante proceso.

**Ana Carolina Serrano**

## Agradecimiento

A nuestras familias, por su amor incondicional, apoyo y sacrificio que hicieron posible este logro.

Al Ingeniero Daniel Mogrovejo, cuya guía experta, paciencia infinita y constante aliento fueron cruciales. Su confianza en este proyecto y sus valiosos consejos nos impulsaron a superar cada obstáculo y a profundizar en la investigación.

A nuestros amigos y compañeros de la universidad, por las interminables sesiones de estudio, los momentos de frustración compartidos y las celebraciones de cada pequeño triunfo. Su amistad y apoyo han hecho este camino no solo más llevadero, sino también más enriquecedor.

A las empresas privadas que generosamente colaboraron con muestras para esta investigación. Su contribución fue invaluable para la realización de este proyecto.

A todos aquellos que, de una forma u otra, han sido parte de este viaje académico y han contribuido a nuestro crecimiento personal y profesional.

## 1. Capítulo 1. Introducción y Objetivos

### 1.1. Antecedentes

La contaminación plástica ha ido incrementando de manera constante a lo largo de los años, representando una seria amenaza tanto para el medio ambiente como para la economía global. Aunque el plástico tiene una gran utilidad en diversas aplicaciones, su uso excesivo resulta en la generación anual de aproximadamente 280 millones de toneladas de productos, principalmente aquellos de corta vida útil, que terminan siendo desechados en grandes depósitos residuales o en el océano (Albán, 2019).

En 2010, en Estados Unidos se produjeron 31 toneladas de residuos plásticos, representando el 12.4% de los residuos municipales totales de ese año. En 2018, Europa, América del Norte y Asia encabezaban la producción mundial de plástico, con más del 60% de la demanda concentrada en cinco países europeos: Alemania (24.9%), Italia (14.3%), Francia (9.6%), Reino Unido (7.7%) y España (7,4%) (Albán, 2019). Para 2019, la producción global de plástico había alcanzado las 9.5 mil millones de toneladas (Global Plastics Outlook, 2022).

Durante el año 2021, la producción global de plástico alcanzó los 390 millones de toneladas. China lideró como el principal productor de plásticos, contribuyendo aproximadamente con el 32% de la producción mundial, con una producción mensual de alrededor de 7 millones de toneladas durante la pandemia de COVID-19 (Statista Research Department, 2023). En la Figura 1 se presenta en un gráfico de barras el incremento en la producción global de plástico en millones de toneladas.

A partir de la información y datos a nivel mundial sobre la producción de plástico, es importante analizar el panorama específico en América Latina. Hasta el 2010, el promedio de generación diaria de residuos sólidos por habitante en América Latina y el Caribe era de entre 0.2 a 0.5 kg. Sin embargo, en 2016, este promedio aumentó significativamente, alcanzando hasta 1.2 kg por habitante al día (Angumba, 2016). Por consiguiente, los gobiernos comenzaron a implementar medidas para luchar contra la contaminación por plástico, generando leyes y políticas que fomentasen una nueva economía del plástico. Algunas de estas medidas están relacionadas con la gestión y tratamiento de residuos, y otras con la prohibición de bolsas y otros productos plásticos de un solo uso (Albán, 2019; Carangui & Lasso, 2010)

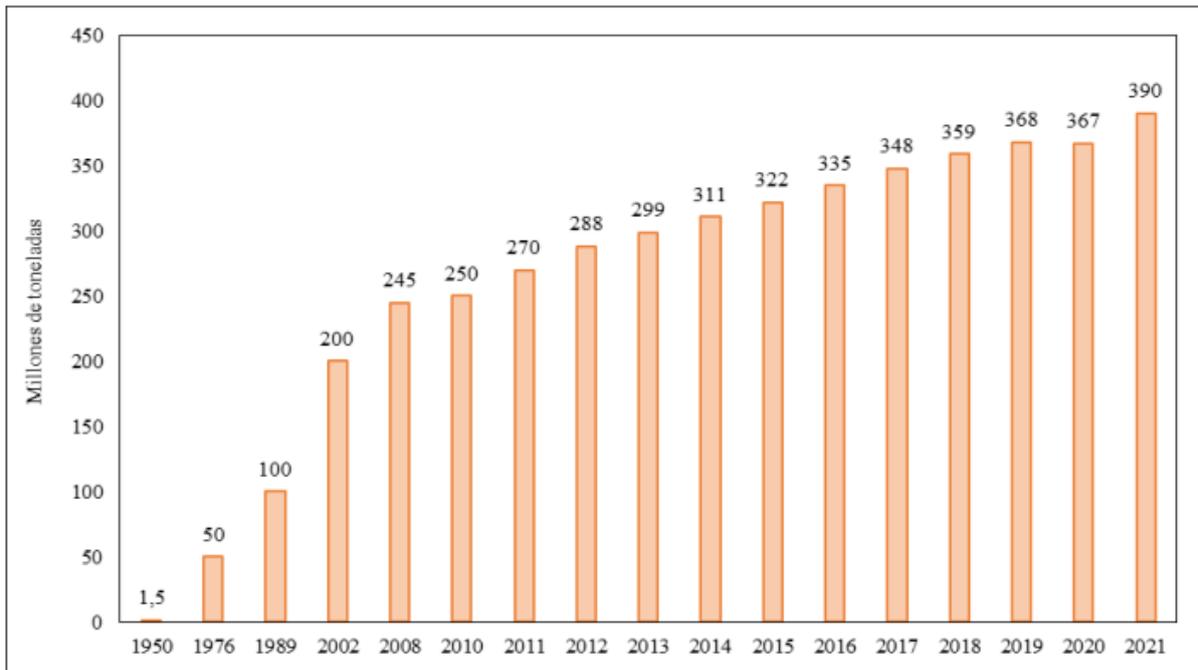


Figura 1 Producción global anual de plástico en millones de toneladas (Statista Research Department, 2023)

A pesar de todos los esfuerzos realizados, en 2020 se generaron 232.8 millones de toneladas de residuos sólidos, de las cuales 28.8 millones de toneladas correspondieron a residuos plásticos, representando el 12.4% del total (Albán, 2019). La necesidad de abordar esta problemática de manera urgente se hace evidente ante las cifras alarmantes que indican un crecimiento continuo de la contaminación plástica en la región.

Estudiando en específico el panorama nacional, en Ecuador se registró una producción anual de alrededor de 4.1 millones de toneladas de residuos sólidos. El 25% de la producción total corresponde a residuos reciclables, incluyendo, papel, cartón, plástico y vidrio. Estos residuos no deberían dirigirse a los rellenos sanitarios. De un millón de toneladas de residuos sólidos que podrían reciclarse, según datos del 2014, solo un 25% logra el objetivo. Esto subraya la urgente necesidad de aumentar los esfuerzos y la conciencia sobre el reciclaje para reducir el impacto ambiental de los desechos (Albán, 2019).

Un ejemplo de esta problemática se presenta en Imbabura. Del total de la basura generada, solo se recolecta el 74%, y de este porcentaje, el 99% se procesa de manera inadecuada, terminando en vertederos a cielo abierto. Solo el 1% de los residuos pasa por procesos de reciclaje (Pinto Landeta, 2014). En la Tabla 1 se presentan los porcentajes de materiales reciclados en Ecuador.

Tabla 1 Porcentajes de materiales reciclados en Ecuador (Rodríguez &amp; Gamba, 2008)

**Materia Inorgánica Reciclada**

Papel y Cartón	26.4%
Plástico	12.0%
Vidrio	1.0%
Chatarra	60.6%

Por otro lado, durante la pandemia de COVID-19, las medidas de confinamiento y las restricciones de movilidad llevaron a una disminución visible de la contaminación del aire y la presión sobre el medio ambiente en algunas áreas. No obstante, el uso masivo de plásticos de un solo uso, como el equipo de protección personal, incluidas mascarillas y guantes, tuvo un impacto significativo en la generación de residuos plásticos.

A nivel mundial, se estima que se desechaban aproximadamente 129 mil millones de mascarillas y 65 mil millones de guantes cada mes. Estos artículos, esenciales para evitar la propagación del virus, están mayoritariamente hechos de plástico, lo que ha contribuido al aumento de residuos plásticos. La gestión inadecuada de estos desechos, junto con la creciente demanda de plásticos para envases de alimentos y otros usos durante la pandemia, ha suscitado preocupaciones ambientales y remarcan la importancia de encontrar soluciones sostenibles para gestionar los residuos plásticos en situaciones de emergencia (Khoo et al., 2021).

A medida que el mundo supera la pandemia, queda claro que la creciente dependencia de los plásticos ha creado un nuevo desafío ambiental, enfatizando la necesidad de replantear estrategias para minimizar el impacto negativo de los residuos plásticos en el medio ambiente (Patrício Silva et al., 2021). Esta necesidad de soluciones sostenibles ha llevado a la exploración de usos innovadores para los plásticos, especialmente en la industria de la construcción, donde los materiales plásticos están encontrando aplicaciones prácticas en la producción de cemento, asfalto y otros materiales de construcción.

Un caso destacado de esta innovación es el uso de PET en la construcción de pavimentos. En este método, conocido como el "proceso en seco", el PET se combina con agregados y la mezcla resultante se calienta a 130 °C (Rojas, 2019). Por otro lado, la utilización de ladrillos de polímero como alternativa de construcción ha crecido significativamente en países como Argentina, Perú y México, donde se les reconoce como materiales eficaces. En Ecuador, particularmente en la ciudad de Cuenca, aún no se han producido estos ladrillos de manera local. Por lo tanto, nuevos estudios emergen como una herramienta valiosa para los

profesionales y técnicos en el sector de la construcción, proporcionando una nueva perspectiva sobre las ventajas y posibilidades que los ladrillos de polímero pueden ofrecer a la industria local (Angumba, 2016).

Finalmente, otra aplicación de los residuos plásticos en la construcción es la fabricación de un material conocido como madera plástica. Este material no solo imita la apariencia de la madera natural, sino que también ofrece propiedades físicas superiores, siendo más resistente y menos propenso a la degradación. Este tema será el enfoque principal de esta tesis, donde se explorarán en detalle sus propiedades, beneficios y aplicaciones en la industria de la construcción.

## **1.2. Planteamiento del problema**

En la construcción y en la ingeniería civil, elegir materiales de construcción sostenibles se ha vuelto una prioridad debido a la creciente conciencia ambiental. Esta investigación tiene como objetivo realizar un estudio técnico de la madera plástica y compararla con la madera tradicional, evaluando sus propiedades y su impacto ambiental en la construcción.

La importancia de este estudio radica en la necesidad de reducir los impactos ambientales de la construcción, especialmente en el uso de materiales. La madera plástica es una alternativa prometedora, pero necesita un análisis detallado y comparativo de sus propiedades y efectos ambientales, siguiendo normativas como las establecidas en la ASTM o Normativa Ecuatoriana.

Aunque la madera plástica tiene potencial, esta enfrenta limitaciones como la falta de empresas que la fabriquen y la ausencia de estudios específicos. Esta investigación busca superar estas limitaciones, sentando un precedente significativo para futuras investigaciones y comparativas con la madera convencional.

La hipótesis de esta investigación plantea la posibilidad de que, al aplicar ensayos de laboratorio de las propiedades físicas y mecánicas, la madera plástica exhiba una resistencia superior a los factores climáticos y la intemperie en comparación con la madera convencional. Así mismo, que su comportamiento ante ensayos de flexión, compresión y corte presenten un desempeño similar o ligeramente superior al de la madera convencional. En consecuencia, se espera que, al demostrar su desempeño, se impulse la diversificación de usos, proporcionando una alternativa sostenible y resistente para aplicaciones estructurales y arquitectónicas, marcando así un hito en la utilización de materiales amigables con el medio ambiente.

### 1.3. Objetivo general

Estudio técnico de la madera plástica, comparación con la madera tradicional y la contribución al mejoramiento del medio ambiente.

### 1.4. Objetivos específicos

- Identificar materiales primos para la fabricación.
- Comparación de las propiedades físicas y mecánicas de la madera vs madera plástica en la construcción.
- Análisis ambiental del uso de maderas con PET.
- Análisis de Costo de Ciclo de Vida de la madera plástica y materiales clásicos utilizados en la construcción.
- Propuesta de ejemplo de caso real.
- Análisis de Matriz comparativa multicriterio

### 1.5. Organización de capítulos

La tesis se organizará en los capítulos:

#### *Capítulo 1. Introducción y Objetivos*

El primer capítulo introduce los antecedentes y el contexto de la investigación sobre el uso de madera plástica en la construcción. Se plantea el problema central que motiva el estudio y se definen tanto el objetivo general como los objetivos específicos que guiarán la investigación.

#### *Capítulo 2: Marco Teórico*

En el segundo capítulo se desarrolla el marco teórico que sustenta la investigación. Se ofrece una definición clara de los materiales, con un enfoque especial en la madera plástica y su situación en Ecuador. Se mencionan las empresas nacionales que trabajan con este material, las normativas y teorías aplicables, y se presentan los conceptos de análisis del ciclo de vida y del impacto ambiental de la madera plástica.

#### *Capítulo 3: Materiales y Métodos - Metodología*

El tercer capítulo detalla los materiales y métodos utilizados en la investigación. Se presentan los materiales utilizados y la preparación de las muestras para los ensayos de laboratorio. Se describen los métodos de laboratorio empleados para evaluar las propiedades de la madera plástica.

## *Capítulo 4: Resultados de Análisis de los Ensayos de Laboratorio*

En el cuarto capítulo se presentan y analizan los resultados obtenidos de los ensayos de laboratorio realizados en la madera plástica. Se incluyen los resultados de los ensayos de corte, flexión, compresión y pruebas físicas cualitativas. Se realiza una comparación de las propiedades de la madera plástica con las de la madera tradicional.

## *Capítulo 5: Análisis de Impacto Ambiental y Análisis de Ciclo de Vida*

El quinto capítulo se centra en el análisis del impacto ambiental y el ciclo de vida de la madera plástica. Se evalúan los beneficios y desventajas ambientales del uso de este material en comparación con la madera tradicional, considerando todo su ciclo de vida desde la producción hasta su disposición final.

## *Capítulo 6: Estudio del Caso de Aplicación y Análisis de Precios Unitarios (APUs)*

En el sexto capítulo se presenta un caso de estudio de una aplicación real de la madera plástica en la construcción. Se analizan los precios unitarios asociados con el uso de este material, comparándolos con los costos de la madera tradicional. Este análisis económico permite evaluar la viabilidad financiera del uso de madera plástica en proyectos constructivos.

## *Capítulo 7: Conclusiones y Recomendaciones*

El último capítulo ofrece las conclusiones generales de la investigación, sintetizando los hallazgos más relevantes. Además, se proporcionan tablas comparativas con los resultados obtenidos, orientadas a mejorar la adopción y el uso de madera plástica en el sector de la construcción.

## 2. Capítulo 2: Marco Teórico

### 2.1. Introducción

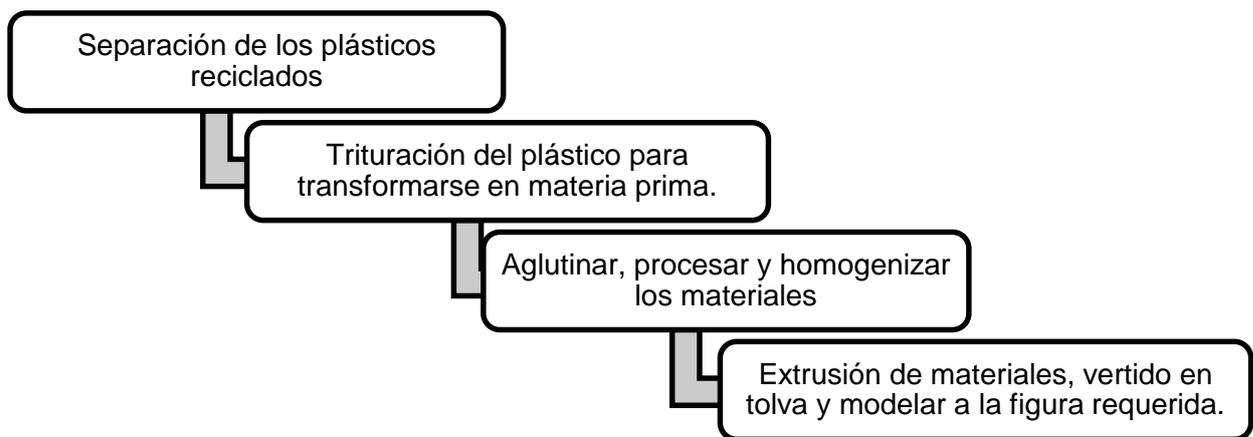
Al centrar la investigación en la rama de materiales sostenibles, es necesario abordar la definición de reciclaje. El reciclaje es la "operación de separar y clasificar los residuos sólidos para su reutilización y se utiliza si los residuos sólidos clasificados pasan por una transformación para ser nuevamente utilizados" (NTE INEN 2841 Gestión Ambiental. Estandarización de Colores Para Recipientes de Depósito y Almacenamiento Temporal de Residuos Sólidos. Requisitos, 2014). El reciclaje es una práctica ecológica que consiste en transformar un desecho o elemento inservible en un recurso útil, evitando así el consumo de nuevos recursos naturales (Albán, 2019)

Un ejemplo destacado de esta práctica es el reciclaje de plásticos PET (tereftalato de polietileno), un material comúnmente utilizado en botellas y envases. A través del reciclaje, el PET puede ser transformado y reutilizado en la fabricación de productos nuevos, contribuyendo significativamente a la sostenibilidad ambiental y a la economía circular.

Las características destacadas del PET lo convierten en un material sumamente versátil y adecuado para una amplia gama de aplicaciones. Su alta cristalinidad y transparencia permiten la incorporación de colorantes para mejorar la estética, mientras que su resistencia a esfuerzos permanentes y al desgaste garantiza durabilidad en diversas condiciones. Además, el PET cuenta con un buen coeficiente de deslizamiento, resistencia química y propiedades térmicas, lo que le permite soportar temperaturas elevadas sin degradarse. Estas propiedades hacen del PET un material ideal para proyectos que requieren durabilidad y resistencia. (Angumba, 2016)

El PET reciclado es un ejemplo destacado de cómo los materiales sostenibles pueden integrarse en la construcción moderna mediante los llamados eco-materiales. Los eco-materiales, conocidos por su bajo costo, bajo consumo energético y origen natural, están ganando reconocimiento globalmente. En China, se implementó el primer eco-material utilizando ceniza de cáscaras de arroz mezclada con arcilla. Actualmente, la madera plástica lidera el campo de los eco-materiales en la construcción. Este material no solo reduce la contaminación al ser reciclado y tener baja degradabilidad, sino que también posee propiedades y características que lo hacen ideal para construcciones sostenibles. Su versatilidad y adaptabilidad lo hacen apto para diversas aplicaciones y ambientes, destacándolo como una opción prometedora en el esfuerzo por crear edificaciones más ecológicas y duraderas (Zorro & Ramirez, 2022).

La madera plástica se fabrica a partir de plástico reciclado, lo que la convierte en un sustituto principal de la madera convencional. Su composición incluye diversos polímeros como polipropileno (PP), polietileno de alta densidad (PEAD), polietileno de baja densidad (PEBD), PET y otros tipos de plásticos reciclados, provenientes de productos plásticos comunes como tapas, bolsas, envases, sorbetes, botellas y otros desechos plásticos (Madera verde Ecuador, 2020). La madera plástica es una solución ambientalmente responsable, ya que se puede fabricar completamente con plásticos reciclados o con una mezcla de 60% de madera reciclada como aserrín y 40% de plásticos reciclados (Zorro & Ramirez, 2022). El proceso de fabricación de la madera plástica se esquematiza en la Figura 2.



*Figura 2 Diagrama de flujo para la fabricación de la madera plástica (Zorro & Ramírez, 2022)*

Sus propiedades físicas y mecánicas, junto con su resistencia a la intemperie, durabilidad y facilidad de mantenimiento, permiten su uso en construcción, fabricación de muebles y mobiliario urbano. Además, se ofrece en una amplia gama de colores, lo que proporciona diversas opciones estéticas y decorativas. Este material destaca por sus características ecológicas, rentabilidad, resistencia a la lluvia y bajas temperaturas, y durabilidad debido a la lenta degradación del plástico. Además, la madera plástica es resistente a la luz solar, incluyendo rayos ultravioletas e infrarrojos, y a la humedad, superando las propiedades de la madera convencional frente a los elementos climáticos. Incluso, estéticamente la madera plástica ofrece un acabado similar a la madera natural, sin necesidad de pinturas o selladores, lo que reduce el mantenimiento y realza su atractivo visual (Venegas & Ruiz, 2018).

En la construcción, sus beneficios son evidentes debido a su fabricación rápida, bajo costo y ventajas de sostenibilidad y eficiencia. Simplifica la logística y los recursos necesarios para su instalación, ya que no requiere maquinaria pesada ni cuadrillas grandes, lo que reduce los costos de construcción y acelera el tiempo de ejecución del proyecto (Zorro & Ramírez, 2022).

Su uso y fabricación reduce la cantidad de plástico en los vertederos y promueve una economía circular al reutilizar estos materiales. La madera plástica se emplea en proyectos de construcción y diseño que buscan equilibrar funcionalidad y sostenibilidad, ayudando a conservar los bosques y prevenir la deforestación.

## 2.2. Antecedentes e investigaciones sobre la madera plástica

A pesar de que en el país no se han generado profundas investigaciones en el ámbito de la madera plástica, a nivel mundial este material es más conocido y ha sido utilizado en momentos de emergencia y en zonas de bajos recursos. Un ejemplo notable ocurrió en Wenchuan, China, después del terremoto de magnitud 8 en la escala de Richter el 18 de mayo de 2008. En respuesta a la urgente necesidad de refugio para los ciudadanos afectados, el gobierno decidió rápidamente construir casas prefabricadas utilizando madera plástica. (Zorro & Ramírez, 2022).

En Buenos Aires, Argentina, se construyó una casa utilizando madera plástica, como se documenta en "Hechos del mundo que nos inspiran" (Faraday, 2020). Este es un ejemplo concreto en el que, para la edificación de una vivienda de aproximadamente 45 metros cuadrados, se requirieron 6,500 kg de plástico reciclado. Esto representa una significativa cantidad de residuos plásticos que, de otro modo, terminarían en vertederos, convirtiéndose así en un recurso valioso para la construcción. En la Figura 3 se muestra la casa fabricada con madera plástica.



*Figura 3 Casa en Buenos Aires fabricada con madera plástica (Faraday, 2020)*

En el continente se han realizado diversos ensayos enfocados en la madera plástica, demostrando sus propiedades de resistencia y compresión mediante análisis comparativos

con la madera convencional. Estos estudios han destacado las ventajas y el rendimiento de la madera plástica, respaldando así su viabilidad y eficacia para diversos usos. Entre estos estudios se encuentran:

Zorro y Ramírez realizaron una investigación experimental y descriptiva en Colombia, enfocada en la madera plástica. Manipularon variables como la resistencia a la flexión, contenido de humedad y durabilidad natural frente a agentes degradantes en condiciones rigurosamente controladas para analizar el comportamiento de las muestras. Además, detallaron las cualidades sociales, económicas y ambientales mediante el Análisis de Ciclo de Vida (ACV) de las estibas de madera natural y plástica.

El diseño de la investigación se estructuró en cinco etapas secuenciales. Comenzó con la identificación de puntos donde se generan Residuos Sólidos Industriales, seguido por ensayos para evaluar las propiedades físicas y mecánicas de la madera natural y la madera plástica. Luego, se realizó una evaluación del ciclo de vida de ambos tipos de madera, seguida de un análisis económico de los costos de producción de las estibas. Finalmente, se llevó a cabo un estudio de participación social para entender mejor el impacto y la percepción comunitaria sobre estas tecnologías en la construcción y la industria.

Los ensayos realizados se llevaron a cabo bajo las normativas ASTM D7031-11, ASTM D6108-13, ASTM D6109-13, ASTM D6112-13 y ASTM D7568-17. Los resultados obtenidos por Zorro y Ramírez destacan las propiedades superiores de la madera plástica, confirmadas mediante ensayos de densidad, dureza, resistencia a compresión y flexión. Estos análisis respaldan que la madera plástica es un material óptimo para la construcción en comparación con la madera convencional (Zorro & Ramirez, 2022).

Por otro lado, se realizó una investigación en la ciudad de Quito y se enfocó en un análisis exploratorio-descriptivo para caracterizar las propiedades físicas y mecánicas de dos tipos de madera plástica producidos localmente en Ecuador: Se usó una probeta llamada M1, compuesta por PET y cáscara de arroz, y M2, elaborada con polipropileno. El estudio aplicó ensayos conforme a las normativas ASTM para evaluar el comportamiento de estos materiales bajo condiciones específicas. La metodología abarcó desde el proceso de manufactura hasta la obtención y tallado de probetas, provenientes de empresas como Ecom y Ecuaplastic. Se realizaron ensayos de resistencia a flexión, elasticidad, corte, tracción, densidad, absorción de agua, dureza y economía circular.

Los resultados demostraron que la madera plástica M1 exhibe mayor resistencia a la tracción y alta capacidad de absorción de agua debido a las fibras de refuerzo presentes, junto con

un módulo de elasticidad superior que proporciona rigidez y menor deformación. En contraste, la madera plástica M2 mostró una estructura transversal menos compacta con vacíos que condujeron a deformaciones más pronunciadas. A pesar de estas diferencias, ambos tipos mostraron ventajas en la construcción, como la resistencia a los xilófagos y un potencial para elementos de carga axial, con buen desempeño en compresión, tracción y flexión (Vanegas-Padilla et al., 2021a).

En Cuenca, se han llevado a cabo investigaciones en laboratorios, como parte de trabajos de titulación, principalmente en la Universidad Católica de Cuenca. El Laboratorio de Economía Circular, en colaboración con la Empresa Pública Municipal de Aseo de Cuenca (EMAC), ha desarrollado iniciativas para transformar residuos inorgánicos en mobiliario urbano como mesas, sillas y macetas (El nuevo tiempo, 2023).

Aunque la industria de la madera plástica en el país aún se encuentra en desarrollo, existen algunas empresas involucradas en su producción. Por ejemplo, Botellas con Amor es una fundación que transforma residuos plásticos flexibles en viviendas, parques infantiles y mobiliario hecho de plástico reciclado. Por otro lado, Disecoarvol ha buscado utilizar el plástico como sustituto de la madera para evitar que estos desechos terminen en rellenos sanitarios. Asimismo, Madera Verde, una empresa ecuatoriana ubicada en Guayaquil, ofrece en su catálogo tablonés, pallets, escaleras, gradas y otros productos fabricados con madera plástica.

### **2.3. Aplicaciones de la madera plástica en Ecuador**

Los productos manufacturados por empresas de madera plástica han sido implementados en diversos lugares del país como una medida de innovación y sostenibilidad. Algunos de los lugares en donde se ha instalado la madera plástica son:

En la Fundación Malecón 2000 se llevó a cabo el cambio de bancas de madera natural por bancas fabricadas con madera plástica (Figura 4). En el Malecón del Salado se realizaron instalaciones en el Parque Lineal y pasos peatonales, así como en la implementación de jardineras, contribuyendo a la creación de espacios públicos duraderos y amigables con el entorno (Figura 5).

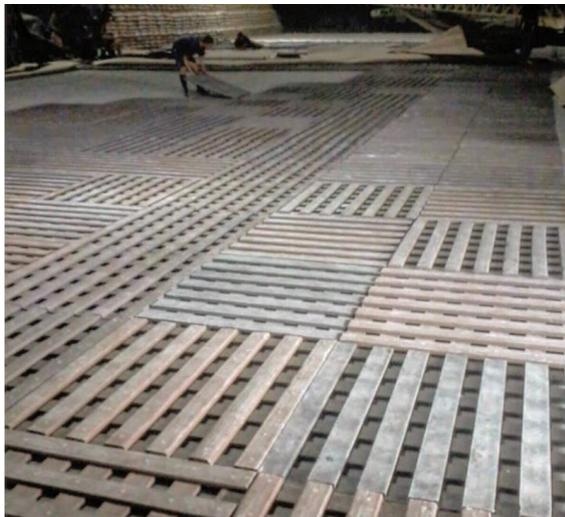


*Figura 4 Bancas de madera plástica en el Malecón 2000 (Recicladora Barahona, n.d.)*



*Figura 5 Caminerías de madera plástica en el Malecón del Salado (Recicladora Barahona, n.d.).*

La empresa Ingenio Valdez utiliza rejillas de madera plástica para el almacenamiento de productos, demostrando la utilidad en entornos industriales y de almacenamiento (Figura 6). Por otro lado, la madera plástica también es utilizada en la Urbanización Metrópolis II en Guayaquil principalmente en los juegos infantiles y bancas que son utilizadas para la creación de espacios recreativos y seguros (Figura 7). Otra aplicación se presenta en la participación en la construcción de Eco-Aldeas y senderos en Isla Santay a través del Ministerio del Ambiente (Figura 8).



*Figura 6 Rejillas de madera plástica - Ingenio Valdez (Recicladora Barahona, n.d.)*



*Figura 7 Juegos infantiles – Urbanización Metrópolis II (Recicladora Barahona, n.d.)*



*Figura 8 Senderos en Isla Santay (Recicladora Barahona, n.d.)*

Empresas como Intaco, Plastiempaques, Drocaras y Plastigama utilizan pallets de madera plástica en sus industrias. Además, Sudamer S.A. utiliza madera plástica para pasos peatonales (Madera verde Ecuador, 2020).

El año 2023 se evitó que cerca de 50 mil toneladas de desechos urbanos e industriales lleguen a los rellenos sanitarios gracias a las mejoras en el manejo de residuos sólidos. En Cuenca, en colaboración con la Empresa Pública Municipal de Aseo de Cuenca "EMAC", el Laboratorio de Economía Circular ha llevado a cabo la transformación de residuos inorgánicos en mobiliario urbano, como mesas, sillas y macetas (Figura 9). Este mobiliario se ha utilizado en puntos estratégicos de la ciudad, como la Plaza del Valle, Frances Urco, Parque Paraíso, Parque de las mascotas (Figura 10), Puente Vivas Nos Queremos y la Parroquia Quingeo (El nuevo tiempo, 2023).



*Figura 9 Macetas de madera plástica*



*Figura 10 Implantación de mobiliario en Cuenca*

También en la laguna Toreadora en el Parque Nacional Cajas se colocó un muelle hecho con madera plástica (Figura 11) y actualmente, en los Corredores Verdes que están siendo

construidos en la Av. Gil Ramírez Dávalos por la municipalidad de Cuenca también se observan sillas hechas con madera plástica (Figura 12).



*Figura 11 Muelle en la laguna Toreadora*

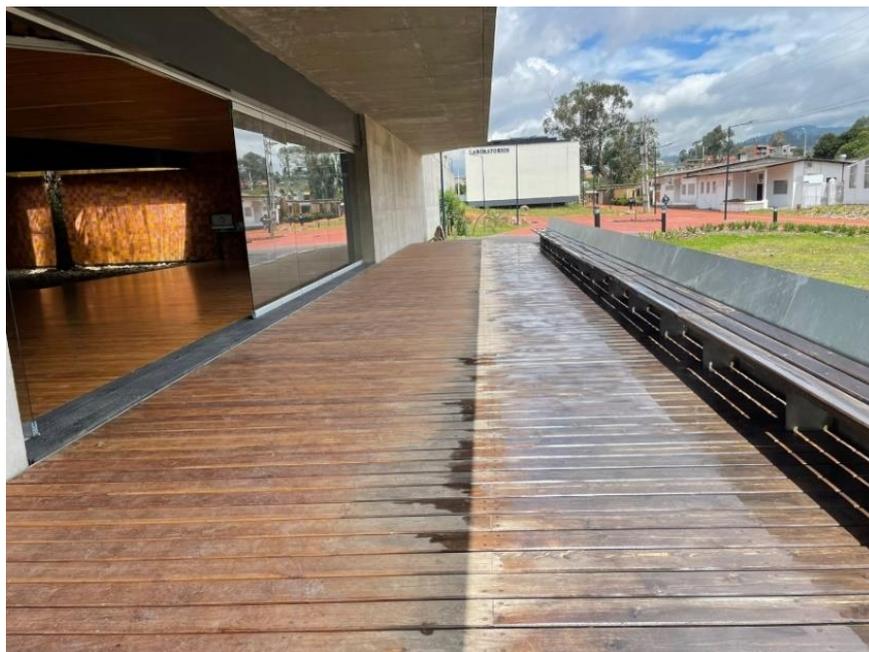


*Figura 12 Silla en Corredores Verdes de Cuenca*

#### **2.4. Envejecimiento de la madera natural en Ecuador**

El uso de la madera natural ha sido ampliamente aceptado desde hace cientos de años por lo que es conocido que, al ser un material orgánico, es propenso a daños causados por factores ambientales y biológicos. Con estas consideraciones, es preciso señalar ejemplos en la construcción en los que la madera natural se ve fuertemente afectada por el paso del tiempo.

Un ejemplo importante se ubica en el campus Balzay de la Universidad de Cuenca. Aquí se optó por emplear madera natural en la construcción de la entrada al edificio administrativo. Sin embargo, alrededor de dos años después de su implementación, se observa un notable deterioro en el material, con pérdida de su capa protectora, color y resistencia. Se observa claramente que la zona expuesta a lluvias presenta mayor deterioro que la que se encuentra bajo la cornisa y esta a su vez, está más deteriorada que la que se encuentra detrás de las puertas de cristal. Estas observaciones se aprecian claramente en la Figura 13. Este inconveniente podría haberse prevenido fácilmente si se hubiera seleccionado la madera plástica como material en lugar de la madera natural, que además dejaría un aspecto más estético y duradero.



*Figura 13 Madera en la entrada del Edificio Administrativo - Campus Balzay*

En los parques San Blas y San Sebastián también en Cuenca, se observa un gran deterioro en las bancas de madera natural, principalmente por la pérdida de tablones debido a la vida útil de este material, así como su color y resistencia. Esta situación podría haberse evitado mediante el uso de otras estrategias como el diseño y fabricación de mobiliario urbano como las bancas colocadas por "Madera Verde Ecuador" en el Parque Lineal de Guayaquil que, además de contrarrestar el desgaste de la madera natural, ayuda a contribuir a la preservación ambiental.



*Figura 14 Bancas de madera natural en deterioro - San Blas*



*Figura 15 Bancas de madera plástica – Madera Verde Ecuador*

En los parques de Cuenca, juegos infantiles son expuestos a la intemperie por lo que, con el pasar de los años, la madera presenta fisuras y musgos.



*Figura 16 Fisuras en juegos infantiles de madera natural*



*Figura 17 Aparición de musgo en madera natural*

Además, la madera natural, una vez que pierde su funcionalidad, se reduce a desechos y aserrín, limitando su utilidad y posibilidades de reutilización a un nivel conocido. Por otro lado, la madera plástica ofrece una perspectiva más sostenible, ya que puede ser recuperada y reutilizada para la creación de nuevos productos. Un ejemplo concreto de esta pérdida de materiales se observa en la remodelación de la Facultad de Ingeniería del campus central de la Universidad de Cuenca, donde se ha acumulado una gran cantidad de madera que formaba parte de la estructura original (Figura 18). En este contexto, dicha madera termina finalmente como aserrín, convirtiéndose en un producto de desecho. La adopción de madera plástica podría ser una medida eficaz e innovadora no solo para minimizar el desperdicio, sino también para contribuir a prácticas más responsables y respetuosas con el medio ambiente en el futuro.



*Figura 18 Residuos de madera del edificio de la Facultad de Ingeniería - Universidad de Cuenca.*

## 2.5. Análisis de Ciclo de Vida y Costos

Para determinar el impacto ambiental de un producto, es fundamental realizar un análisis del ciclo de vida (ACV). Según la Sociedad de Química y Toxicología Medioambiental (SETAC), el ACV es un procedimiento objetivo de evaluación de cargas energéticas y ambientales correspondientes a un proceso o actividad. Este procedimiento se lleva a cabo identificando los materiales y la energía utilizados, así como los descartes liberados en el ambiente natural. La evaluación se realiza a lo largo del ciclo de vida completo del proceso o actividad, incluyendo la extracción y tratamiento de la materia prima, la fabricación, el transporte, la distribución, el uso, el reciclado, la reutilización y la disposición final (SETAC, 1993).

La SETAC define el ACV como un estudio que aborda los aspectos ambientales e impactos a lo largo del ciclo de vida de un producto o actividad, considerando fases intermedias como el transporte, la manufactura, la distribución, el uso, el reciclado y la disposición final (SETAC, 1993). Este enfoque analítico permite contabilizar los contaminantes generados y los recursos consumidos, abordando categorías generales como el uso de recursos, la salud humana y las consecuencias ecológicas. Por ello, el ACV es una herramienta crucial para determinar los impactos más relevantes y la ecoeficiencia de diferentes materiales o procesos que cumplen con la misma función. El método del ACV sigue un protocolo establecido en las normas UNE-EN ISO 14040:2006 y UNE-EN ISO 14044:2006, las cuales dividen el estudio en fases: objetivos y alcance, análisis de inventario, evaluación del impacto e interpretación (ISO 14040:2006 Gestión Ambiental. Análisis Del Ciclo de Vida. Principios y Marco de Referencia, 2006; ISO 14044:2006 Gestión Ambiental. Análisis de Ciclo de Vida. Requisitos y Directrices., 2006). El protocolo se describe a continuación.

*Fases de Objetivos y Alcance:* En esta fase se define el tema de estudio y se establece la unidad funcional, que describe la función principal del sistema a analizar.

*Análisis de Inventario:* Esta fase consiste en la obtención de datos útiles para identificar y cuantificar los efectos ambientales adversos asociados a la unidad funcional. Se elabora una lista cuantificada con los flujos que entran y salen del sistema durante su vida útil, incluyendo los recursos extraídos del ambiente y las emisiones producidas. Se calculan los requerimientos energéticos y materiales del sistema, así como la eficiencia energética de sus componentes.

*Evaluación del Impacto e Interpretación:* En esta fase se revisa el impacto medioambiental de cada proceso analizado tras la recopilación de los datos de inventario. Se determina el

perfil ecológico de un proceso o producto para identificar diferencias en los materiales y/o procesos sobre su comportamiento ambiental.

## **2.6. Normas y Teorías**

Para realizar ensayos y estudios a cualquier material, los procedimientos se deben alinear a normativas. En este contexto, existen diferentes normas para madera plástica y para madera natural. Dentro de la normativa para madera plástica están: ASTM D 7031-11, ASTM D6108-13, ASTM D6109-13, ASTM D6112-13 o ASTM D7568-17. Por otro lado, la normativa para madera natural abarca las normas nacionales: NTE INEN 1164, NTE INEN 1162, NTE INEN 1161 o NTE INEN 1158.

Para la presente tesis, los ensayos que se realizarán son ensayos de flexión estática, compresión paralela a la fibra y corte paralelo al grano, los cuales se encuentran especificados en la sección 8,9 y 14 de la Norma D 143-94 y descritos a continuación.

### **2.6.1. Flexión Estática**

En este estudio, las pruebas de flexión estática se realizarán en muestras para el método primario con dimensiones de 50 x 50 x 760 mm, y en muestras para el método secundario con dimensiones de 25 x 25 x 410 mm. Se medirán la altura y el ancho en el centro y la longitud. Se utilizará una carga central y una longitud de tramo de 710 mm para el método primario y de 360 mm para el método secundario, manteniendo una relación mínima de 14 entre la longitud del tramo y la profundidad. Los bordes de cuchillo de apoyo estarán equipados con placas y rodillos de apoyo, permitiendo una distancia no mayor que la profundidad de la muestra desde el punto de apoyo hasta el plano central, y podrán ser modificados lateralmente para ajustar una pequeña torsión de la muestra. Se utilizará un bloque de apoyo con la forma y tamaño especificados en la Figura 4 para aplicar la carga a las muestras del método primario, y un bloque con un radio de 38 mm y una longitud de cuerda mínima de 50 mm para el método secundario. La muestra se colocará de manera que la carga se aplique a la superficie tangencial más cercana al duramen. La carga se aplicará de forma continua durante toda la prueba, con el cabezal móvil a una velocidad de 2.5 mm/min para el método primario y 1.3 mm/min para el método secundario, aunque se usará una velocidad de 2.55 mm/min. Las curvas de carga-deflexión se registrarán hasta una carga máxima o más para todas las pruebas de flexión estática. En el método primario, las curvas se extenderán hasta una deflexión de 150 mm o hasta que la muestra soporte una carga de 890 N, mientras que en el método secundario la deflexión será de hasta 76 mm o hasta que la muestra soporte una carga de 220 N. Las deflexiones del plano neutro en el centro de la

longitud se medirán teniendo en cuenta los puntos en el plano neutro ubicados sobre los soportes, o en relación con la superficie de tensión en la mitad del tramo, considerando los desplazamientos verticales en las reacciones. Las lecturas se tomarán hasta 0.02 mm al llegar al límite proporcional, y se recomienda usar un calibrador de dial hasta llegar al límite de su capacidad, aproximadamente 25 mm. Deflexiones mayores de 25 mm se medirán con la escala en la cabeza de carga y un alambre en el eje neutro de la muestra, registrándose hasta el valor más cercano a 0.2 mm en intervalos de 2.5 mm y después de variaciones bruscas en la carga. Se registrarán los datos de la carga y la deflexión en el punto de la primera falla, así como la carga máxima y los puntos de cambio repentino. Las fallas en la flexión estática se clasificarán según la apariencia de la superficie fracturada, dividiéndose en fallas "brash" y "fibrosas", siendo "brash" una falla abrupta y "fibrosas" las que presentan astillas. La muestra se pesará justo antes de comenzar la prueba y, después de esta, se retirará una sección de humedad de cerca de 25 mm de longitud cerca del punto de falla en la muestra. El término "grano cruzado" incluye todas las desviaciones del grano en relación con la dirección del eje o los bordes longitudinales de la muestra, y si el grano cruzado presenta una desviación de más de 1 en 20 de los bordes longitudinales, se descartará la prueba.

### **2.6.2. Compresión Paralela a la Fibra**

Para este ensayo, se utilizarán muestras de tamaño 50 x 50 x 200 mm, mientras que las muestras del método secundario tendrán dimensiones de 25 x 25 x 100 mm. Se medirán las dimensiones reales de la sección transversal y longitudinal. Es fundamental que las superficies del grano final sean siempre paralelas entre sí y perpendiculares al eje longitudinal. Para asegurar una distribución uniforme de la carga en la muestra, es útil que la platina de la máquina de prueba sea montada con un cojinete esférico. La carga se aplicará de manera continua a lo largo de la prueba, con una velocidad de movimiento del cabezal móvil de 0.003 mm por cada mm de longitud nominal de la muestra por minuto. Las curvas de carga-compresión se tomarán sobre una longitud de galga central, sin sobrepasar los 150 mm en las muestras del método primario y 50 mm para el método secundario, continuando las lecturas hasta superar el límite proporcional, con deformaciones leídas hasta llegar a los 0.002 mm. Las fallas para un resultado óptimo deben ser aplicadas en el cuerpo de la muestra, obteniendo mejores resultados si los extremos tienen una humedad ligeramente más baja que el cuerpo. En material verde, se puede apilar las muestras, colocar un paño húmedo en el cuerpo y exponer los extremos por poco tiempo; en material seco, es recomendable apilar las muestras y colocarlas en un desecador si se necesita un secado ligero. Las fallas por compresión se clasificarán según la apariencia de la superficie

fracturada, describiendo en orden de aparición si existen dos o más tipos de fallas, y se presentarán en la ficha técnica. Para la medición de anillos y duramen, se contará el número de anillos por el ancho promedio del anillo en milímetros y se determinará la proporción de duramen en un centímetro representativo de la sección transversal de la muestra de prueba, preparando la superficie final para facilitar una medición precisa del duramen. Si las fibras están deshilachadas en los extremos debido al aserrado, se puede realizar un lijado ligero, cepillado u otro método similar en los extremos.

#### - Ductilidad

La ductilidad se define como la capacidad de un material para deformarse plásticamente sin fracturarse. En el contexto de ensayos de flexión en madera, la ductilidad se expresa como la relación entre la deflexión en la falla y la deflexión en el límite elástico. Esta se define de acuerdo con la siguiente expresión:

$$\mu = \frac{\Delta f}{\Delta y}$$

Donde:

$\Delta f$  : Corresponde a la deflexión en el punto de falla.

$\Delta y$  : Corresponde a la deflexión en el límite elástico.

Smith et al. (2003) en "Mechanics of Materials" explican que un valor de  $\mu$  mayor que 1 indica comportamiento dúctil, mientras que valores cercanos a 1 sugieren un comportamiento más frágil.

#### 2.6.3. Corte paralelo al grano

En este ensayo, las muestras se realizarán con dimensiones de 50 por 50 por 63 mm y con muescas que imitarán la falla en una superficie de 50 por 50 mm, permitiendo medir las dimensiones de la superficie de corte. El procedimiento implicará el uso de una herramienta de corte para producir un desplazamiento de 3 mm entre el borde interno de la superficie soporte y el plano del borde adyacente a la superficie de carga. La carga se aplicará mientras se sostiene la muestra en las superficies de la fibra final, teniendo cuidado al colocar la muestra en el equipo de corte y observando el ajuste de la barra transversal, asegurándose de que los bordes de la muestra sean verticales y el extremo se pose uniformemente sobre el soporte en el área de contacto. La velocidad de la prueba se establecerá con una carga aplicada de forma continua a una velocidad de movimiento de la cruceta móvil de 0.6 mm/min.

Las fallas en la prueba se registrarán en la hoja de datos y, si la falla en la base de la prueba se extiende hacia la superficie de soporte, la prueba no será válida. Además, la parte de la pieza que se parte por cizallamiento se utilizará como muestra para determinar el contenido de humedad.

#### **2.6.4. Abrasión y desgaste**

La norma ASTM D1037 proporciona estándares para evaluar diversas propiedades físicas y mecánicas de productos de madera y materiales derivados de la madera. En cuanto al ensayo de abrasión y desgaste, se evalúa la resistencia de la superficie de la madera mediante el uso de ruedas abrasivas que giran a alta velocidad y aplican presión sobre la muestra. El procedimiento consta de tres etapas principales: En la Preparación de la muestra, la superficie de la muestra de madera se prepara adecuadamente, asegurando que esté nivelada y libre de imperfecciones. Luego se utiliza un dispositivo con una rueda abrasiva que gira a una velocidad constante y aplica una carga específica sobre la muestra de madera. Finalmente, la muestra se somete a un número determinado de ciclos de abrasión, durante los cuales la rueda abrasiva actúa sobre la superficie. La cantidad de ciclos y la carga aplicada pueden variar dependiendo de las especificaciones del material y del propósito del ensayo.

#### **2.6.5. Tenacidad**

La tenacidad en la madera se define como la capacidad del material para absorber energía antes de la fractura, representando su resistencia a la propagación de grietas (Ashby y Jones, 2012; Gibson y Ashby, 1997). Esta propiedad mecánica integra la resistencia y la ductilidad del material (Bodig y Jayne, 1982), cuantificándose mediante el área bajo la curva esfuerzo-deformación hasta el punto de falla (Smith et al., 2003). Factores como la estructura celular, densidad, contenido de humedad, temperatura y orientación de las fibras influyen significativamente en la tenacidad (Forest Products Laboratory, 2010). Materiales con mayor tenacidad exhiben superior resistencia al impacto y a cargas dinámicas (Kretschmann, 2010), además de una propagación de grietas más controlada (Dinwoodie, 2000). Esta característica es particularmente relevante en aplicaciones estructurales expuestas a cargas eólicas o sísmicas (Thelandersson y Larsen, 2003). No obstante, la selección de madera para aplicaciones específicas debe considerar un conjunto completo de propiedades mecánicas y no solo la tenacidad (Bowyer et al., 2007).

### **2.7. Conclusiones**

En conclusión, este capítulo ha proporcionado el marco teórico necesario para el estudio comparativo entre la madera plástica y la madera natural en Ecuador. La introducción estableció el contexto y la relevancia del estudio, subrayando la importancia de entender las características y aplicaciones de ambos materiales. Se revisaron antecedentes e investigaciones sobre la madera plástica, destacando su desarrollo y sus diversas aplicaciones tanto a nivel global como en el contexto ecuatoriano.

La ejemplificación de las aplicaciones de la madera plástica en Ecuador mostró su creciente relevancia y potencial en la industria local. Asimismo, se abordó el envejecimiento de la madera natural, considerando los factores ambientales que afectan su durabilidad y desempeño. La teoría sobre el análisis del ciclo de vida y costos proporcionó una perspectiva sobre como ejecutarla para la presente investigación.

Además, se revisaron normas y teorías relevantes para los ensayos de flexión estática, compresión paralela a la fibra y corte paralelo al grano, detallando los procedimientos y estándares aplicables. Estas normas aseguran que los métodos de ensayo sean conformes a las regulaciones nacionales e internacionales, lo que es esencial para obtener resultados precisos y significativos en la investigación.

### 3. Capítulo 3: Metodología y Materiales

#### 3.1. Introducción

El objetivo del presente estudio es realizar un análisis comparativo bajo criterios similares tanto para la madera plástica como para la madera natural. Por esta razón se evaluarán ambos materiales bajo los procesos de la Norma ASTM D143-94 “*Métodos de Prueba Estándar para Pequeñas Muestras Limpias de Madera*”. Para comparar la madera plástica con la tradicional, se realizaron pruebas de corte, compresión, flexión, desgaste y resistencia al fuego. Se hicieron ensayos en múltiples muestras de ambos tipos de madera, evaluando su comportamiento en diferentes condiciones ambientales, como exposición al aire libre, enterramiento, inmersión en agua salada y ambientes húmedos y secos. También se evaluó la madera tratada bajo tierra para obtener una perspectiva completa. Todos los ensayos siguieron las normas de la ASTM D143-94, garantizando la validez y comparabilidad de los resultados, y proporcionando una base sólida para analizar y comparar las propiedades de la madera plástica y la convencional en diversas condiciones.

#### 3.2. Materiales y preparación de muestras

##### 3.2.1. Materiales

El proceso de ensayo comenzó buscando proveedores de madera plástica en el país y obteniendo fichas técnicas detalladas. Se seleccionó a Disecoarvol como proveedor. Dicha empresa ha suministrado tablonces de madera plástica, con dimensiones de 4 x 22 x 200 cm. En el contexto de la investigación, se emplearon dos unidades de estos tablonces. Es relevante señalar que la obtención del material se llevó a cabo mediante una donación por parte del fabricante, no obstante, el valor estimado de cada tablón es de \$43.00.

Por otro lado, la madera natural utilizada para los ensayos fue la madera TECA. Esta madera es proveniente de Esmeraldas y fue obtenida de Madera Santa Ana. El costo de la muestra de esta madera ascendió a \$27.44, presentando dimensiones de 4 x 20 x 220 cm.

En la Figura 1Figura 19 se muestra una fotografía de los tablonces que sirvieron como materia prima. Para la preparación de ciertas muestras se utilizará un tratamiento de cemento acuoso (Figura 20). Demás materiales y herramientas utilizados son los mencionados en la norma aplicada, ASTM D143-94.



*Figura 19 Tablones de madera natural TECA y madera Plástica Disecoarvol.*



*Figura 20 Tratamiento de cemento acuoso para madera natural*

### **3.2.2. Preparación de muestras.**

De acuerdo con la normativa aplicable, para los métodos de ensayos primarios, las dimensiones prescritas para las muestras destinadas a los ensayos son de 5.00 x 5.00 x 7.60 cm para deflexión primaria. 5.00 x 5.00 x 20.00 cm para compresión paralela a la fibra, y 5.00 x 5.00 x 6.30 cm para corte paralelo al grano.

Sin embargo, las medidas utilizadas fueran las que se acomodaron a las dimensiones de la materia prima, debido a que el ancho de los tablones tanto de madera plástica como de madera natural son de 4.00 cm. También se consideraron las dimensiones mínimas para el método secundario, Se procedieron a utilizar muestras con dimensiones de 4.00 x 4.00 cm que son las dimensiones máximas que permiten los tablones. De esta forma se intenta conservar la mayor información que ofrecen los anillos de crecimiento de la madera y se utiliza las mismas dimensiones en la madera plástica para aislar la variable de dimensiones de los ensayos.

Es pertinente señalar que la geometría para cada ensayo difiere entre sí. En consecuencia, las muestras de madera fueron cortadas para adecuarse a los requisitos de cada ensayo. Este proceso fue llevado a cabo en una carpintería, donde se verificó la precisión del procedimiento mediante el empleo de reglas, flexómetros y niveles. En la Figura 21 y en la Figura 22 se presenta el proceso de fabricación de las muestras para los ensayos.



*Figura 21 Proceso de corte de los tablonces de madera plástica.*



*Figura 22 Proceso de corte de muestras de madera natural.*

Para la presente tesis, se ensayarán muestras de madera plástica y de madera natural bajo diferentes condiciones. La condición al aire libre (AL) implica que se realizarán los ensayos sobre muestras de maderas a la intemperie, las cuales fueron sometidas a los impactos ambientales normales en la ciudad de Cuenca; lluvia, viento, frío nocturno y sol de medio día durante 60 días. La condición bajo tierra (BT) implica que las muestras fueron enterradas para simular las condiciones a las que algunas veces se expone la madera. Otra condición similar fue bajo tierra con tratamiento de cemento acuoso (BTT), esta condición se aplicó a las muestras de madera natural y no en las muestras de madera plástica. Otras condiciones fueron en agua salada (AS) y húmedas (H). Ambas condiciones consisten en sumergir las muestras en agua para simular el comportamiento de la madera en condiciones húmedas y con presencia de agua salada. Finalmente, la condición seca (S) consiste en probar las muestras en las condiciones iguales a las que se recibió la madera, es decir, sin realizar ninguna consideración especial. Se utilizará la nomenclatura mostrada en la Tabla 2. Por otro lado, se usará las iniciales MN para madera natural y MP para madera plástica.

*Tabla 2 Siglas utilizadas para nombrar a las muestras de los ensayos.*

<b>Siglas</b>	<b>Significado</b>
<b>AL</b>	Aire Libre
<b>BT</b>	Bajo Tierra
<b>BTT</b>	Bajo Tierra Tratada.
<b>AS</b>	Agua Sal
<b>H</b>	Húmedos
<b>S</b>	Secos

En el registro fotográfico se presentan muestras de madera plástica sumergidas (Figura 23 y Figura 26). También se presentan muestras de madera natural sumergida (Figura 24 y Figura 25).



*Figura 23 Muestra de madera plástica en condición sumergida*



*Figura 25 Muestra de madera natural en condición sumergida el día de ensayo*



*Figura 24 Muestra de madera natural en condición sumergida el primer día*



*Figura 26 Comparación de características de la madera plástica sumergida vs. madera plástica con tratamiento sumergida.*

Otro método de preparación fue colocar la madera natural, natural tratada con cemento acuoso y la madera plástica bajo tierra (Figura 27 y Figura 28).



Figura 27 Muestras de madera natural (café claro), madera natural con tratamiento (negra) y plástica bajo tierra (café oscuro).



Figura 28 Muestras de madera plástica, natural y natural con tratamiento de cemento acuoso bajo tierra

En adición a los ensayos descritos en la norma (flexión estática, compresión paralela a la fibra, corte paralelo al grano) se realizaron dos ensayos cualitativos para evaluar el comportamiento ante fuerzas de fricción (ensayo de resistencia al desgaste) y comportamiento ante el fuego (ensayo de resistencia al fuego).

Se realizaron tres muestras para cada estado de la madera, para cada dirección de la beta y para cada ensayo. De esta manera se realizaron 63 muestras para madera plástica y 72 muestras para madera natural. Las muestras se distribuyen según la Tabla 3.

Tabla 3 Número de ensayos para flexión estática, compresión paralela a la fibra, corte paralelo al grano, desgaste y resistencia al fuego

<b>ENSAYO</b>	<b>MADERA NATURAL</b>	<b>MADERA PLÁSTICA</b>
<i>FLEXIÓN ESTÁTICA</i>	12	9
<i>COMPRESIÓN PARALELA A LA FIBRA</i>	18	15
<i>CORTE PARALELO AL GRANO</i>	18	15
<i>DESGASTE</i>	12	12
<i>RESISTENCIA AL FUEGO</i>	12	12

A continuación, se realizan esquemas con las variables que rigen las dimensiones de las secciones de las probetas ensayadas para flexión estática (Figura 31), compresión paralela a la fibra (Figura 30), corte paralelo al grano (Figura 29), desgaste (Figura 30) y resistencia al fuego (Figura 32).

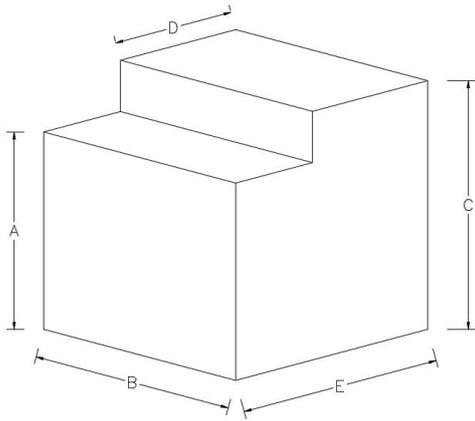


Figura 29 Esquema con variables de las dimensiones de probetas para ensayo de corte paralelo al grano

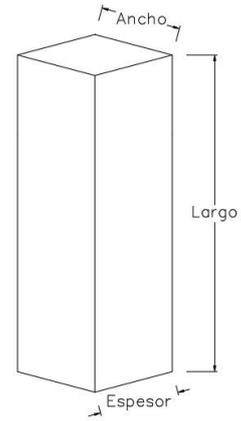


Figura 30 Esquema con variables de las dimensiones de probetas para ensayo de compresión paralela a la fibra

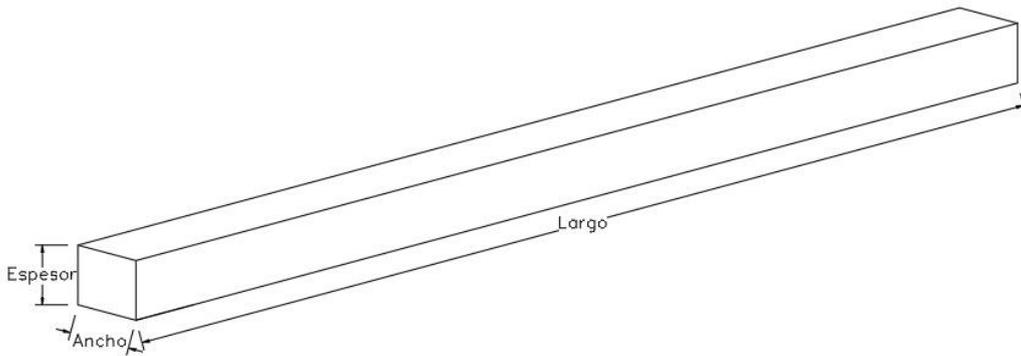


Figura 31 Esquema con variables de las dimensiones de probetas para ensayo de flexión estática

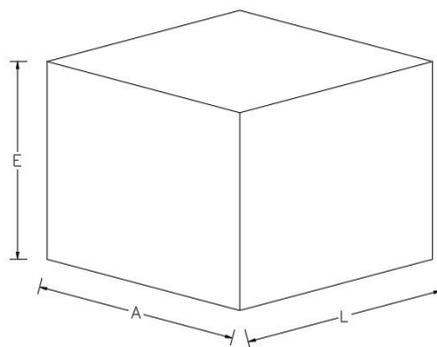


Figura 32 Esquema con variables de las dimensiones de resistencia al fuego

Para los ensayos de flexión estática, compresión paralela a la fibra y corte paralelo al grano, se tomaron las dimensiones y propiedades físicas de cada probeta a ser ensayada. Estos valores se detallan en el Anexo 1 adjunto.

Luego de todo el proceso, en la Figura 33 se presentan las muestras para el ensayo de flexión estática. También se presentan las muestras terminadas para el ensayo de compresión paralela a la fibra (Figura 34, Figura 35 y Figura 36).



Figura 33 Derecha. Muestra de madera natural para ensayo de flexión estática



Figura 35 Muestras de madera natural para el ensayo de compresión paralela a la fibra



Figura 34 Muestras de madera plástica para el ensayo de compresión paralela a la fibra



Figura 36 Muestras de madera natural y plástica para el ensayo de compresión paralela a la fibra

Finalmente, se presenta una fotografía de las muestras para el ensayo de corte paralelo al grano en vista de planta (Figura 38) y en vista frontal (Figura 37).



Figura 37 Muestras de madera natural y plástica para los ensayos de corte paralelo al grano - Vista Frontal



Figura 38 Muestras de madera natural y plástica para los ensayos de corte paralelo al grano – Vista Planta

En los ensayos cualitativos también se utilizaron probetas para el ensayo de resistencia a la abrasión (Figura 39) y probetas para la resistencia al fuego (Figura 40).



Figura 39 Muestras de madera natural y plástica para el ensayo de resistencia a la abrasión.



Figura 40 Muestras de madera natural y plástica para el ensayo de resistencia al fuego

### 3.2.3. Métodos de laboratorio.

Finalmente, para los ensayos se utilizó la prensa de ensayos de la Universidad de Cuenca debidamente calibrada y bajo la supervisión de laboratoristas, tesistas y docentes. Se calibró la velocidad de la prensa según cada ensayo. Para la deflexión primaria, la prueba se realizó con una velocidad de 2.5 mm/min. Para el ensayo de corte paralelo al grano se aplicó una velocidad de corte de acuerdo con la normativa, establecida en 0.6 mm/min. Para comenzar los ensayos, se ubican las muestras en la prensa, tanto para corte paralelo al grano (Figura 41 y Figura 42), compresión paralela a la fibra (Figura 43) y flexión estática (Figura 44).

Se realizó el ensayo de abrasión y resistencia al fuego con la intención de comparar, por medio del tiempo, el desgaste de estos dos materiales en presencia de lija y el fuego.

Para el ensayo de desgaste, se colocó a la muestra de madera natural y plástica nivelada entre dos bloques de piedra pómez. Las muestras para este ensayo fueron de dimensiones 15.1 cm x 4.1 cm x 4.1 cm para L, A y E respectivamente según la Figura 32. Se utilizó la lijadora eléctrica de marca "BLACK & DECKER", la cual tiene un motor de  $\frac{3}{4}$  HP, una banda de 3" x 24", con 224 r.p.m. y una lija de grano #50. No se colocó carga sobre la lijadora, dejándole actuar por el peso propio de la misma. El ensayo se realizó cronometrando un minuto en cada muestra.

Para el ensayo de resistencia al fuego se utilizó un soplete chamuscador a su máxima potencia, es decir, con la válvula totalmente abierta. Según su ficha técnica, el soplete puede llegar hasta una temperatura de 1300 °C y se lo colocó a una distancia promedio de 15.00cm de la muestra. las medidas de la madera natural y plástica fueron de (4.0 cm x 4.0 cm x 4.0 cm) para L, A y E respectivamente según la Figura 32. El ensayo se realizó por un tiempo determinado, hasta observar cambios en los cubos.



*Figura 41 Madera plástica en equipo de ensayo de corte paralelo al grano*



*Figura 42 Madera natural en equipo de ensayo de corte paralelo al grano*



Figura 43 Madera plástica en equipo de ensayo de compresión paralelo a la fibra



Figura 44 Madera plástica en equipo de ensayo de flexión está



Figura 45 Proceso de ensayo de resistencia al fuego en madera natural



Figura 47 Proceso de ensayo de resistencia a la abrasión



Figura 46 Muestra de madera plástica en ensayo de resistencia al fuego.

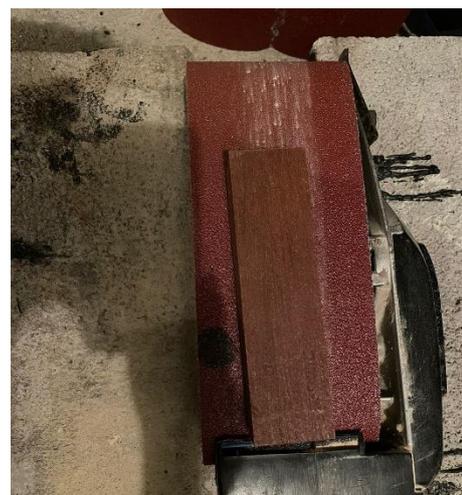


Figura 48 Proceso de ensayo de resistencia a la abrasión

### 3.3. Conclusiones

En este capítulo se abordó la aplicación de las normas ASTM D143-94 para evaluar y comparar las propiedades de la madera plástica y la madera natural. Los ensayos de corte, compresión y flexión se llevaron a cabo siguiendo estas normas.

Se utilizaron muestras de madera plástica proporcionadas por Disecoarvol y madera TECA. Las dimensiones de las muestras se adaptaron lo más posible a las especificaciones normativas, utilizando un proceso de corte y preparación. Aunque fue necesario ajustar las dimensiones debido a las limitaciones del material disponible, el proceso garantizó que se mantuviera la mayor cantidad de información posible sobre las características estructurales de la madera.

Las muestras fueron sometidas a diversas condiciones ambientales, incluyendo exposición al aire libre, enterramiento, inmersión en agua salada, y ambientes húmedos y secos. Además de los ensayos estándar, se realizaron pruebas cualitativas adicionales para evaluar la resistencia al desgaste y al fuego de las muestras.

## **4. Capítulo 4: Resultados de Análisis de los ensayos de laboratorio**

### **4.1. Introducción**

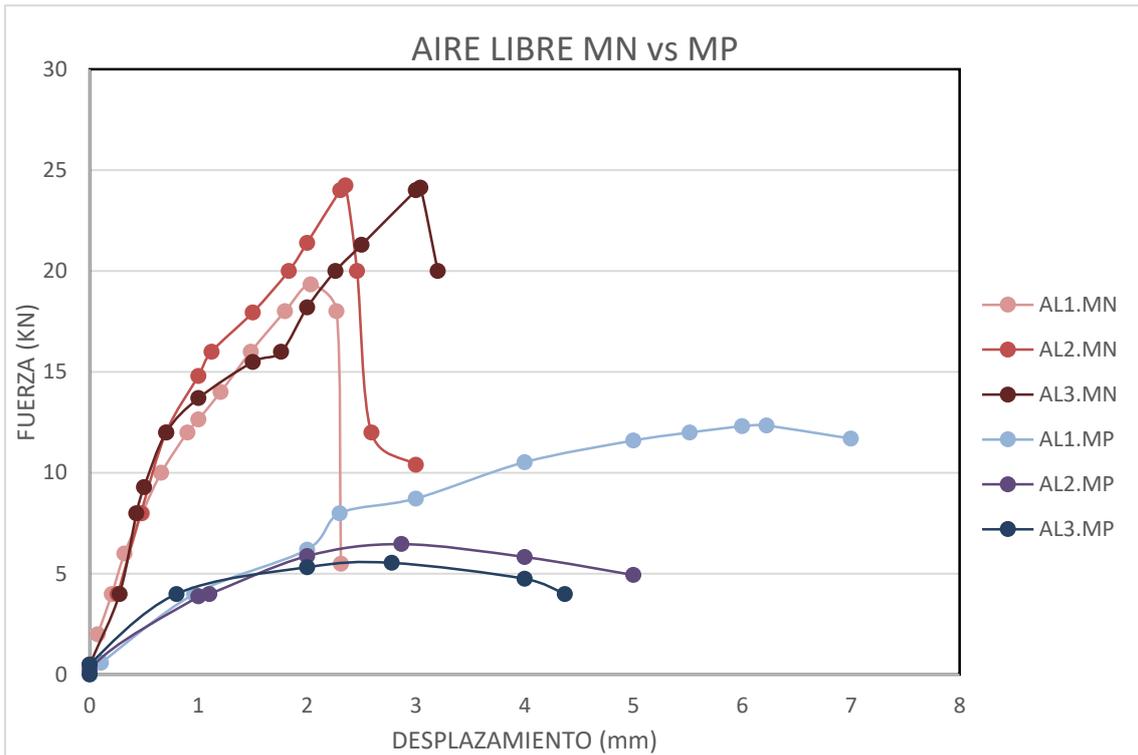
En el presente capítulo se presentan los ensayos realizados sobre las muestras de madera ensayadas. Se han realizado tanto ensayos de corte, flexión, compresión, así como ensayos para observar las características físicas de las maderas. Esto de acuerdo con lo presentado en el Capítulo 2. Se presentan las curvas Desplazamiento – Fuerza en donde se comparan las rigideces de las muestras y las resistencias máximas alcanzadas. Asimismo, se realiza una comparativa de los resultados obtenidos y los modos de falla presentados por cada muestra en una tabla resumen en la Sección 4.6.

### **4.2. Resultados Ensayos de Corte**

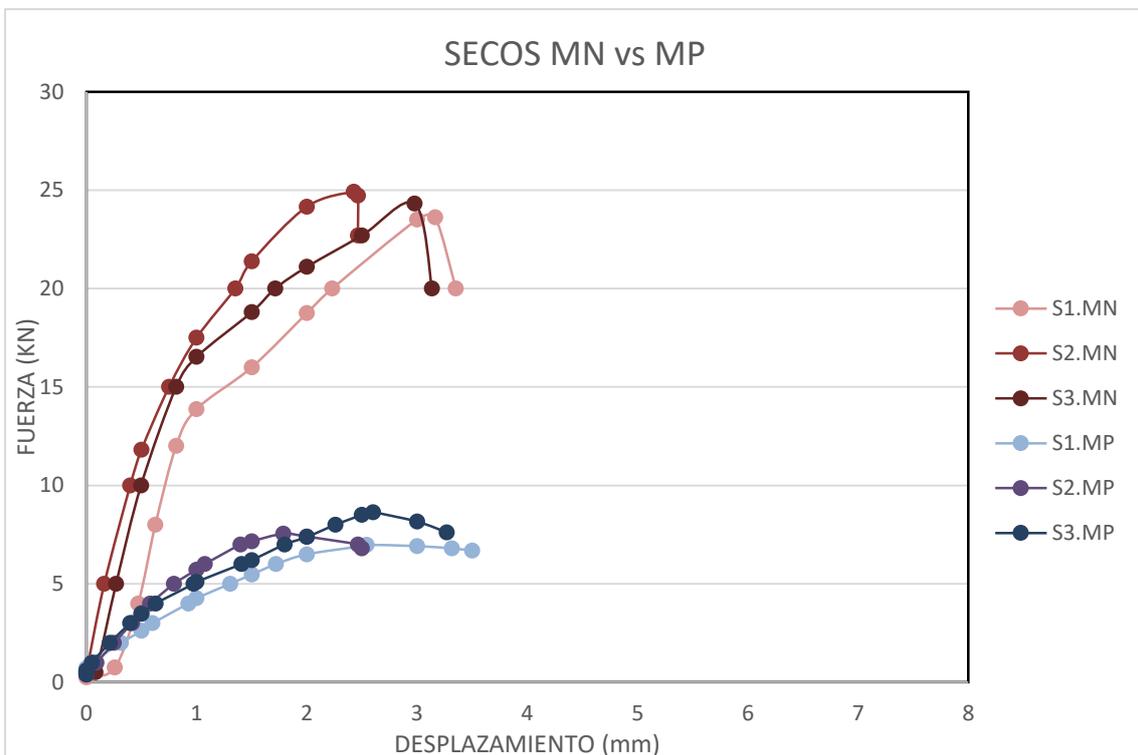
En la siguientes graficas se puede observar la comparación de los resultados del Ensayo de Corte, graficando las Fuerzas vs Desplazamiento para cada muestra de Madera Natural y Madera Plástica, que estuvieron en diferentes condiciones anteriormente descritas.

Desde la Gráfica 1 hasta la Gráfica 5 se muestra la diferencia en la resistencia de la madera natural vs la madera plástica, teniendo la primera una mayor resistencia al corte. La variación con respecto a la fuerza máxima a resistir es mayor para las muestras de la madera natural, sin embargo, la madera plástica muestra mayor desplazamiento. También se puede observar la variación de comportamiento, a lo largo del ensayo, que tiene la madera natural a comparación de la madera plástica en respuesta a la carga aplicada.

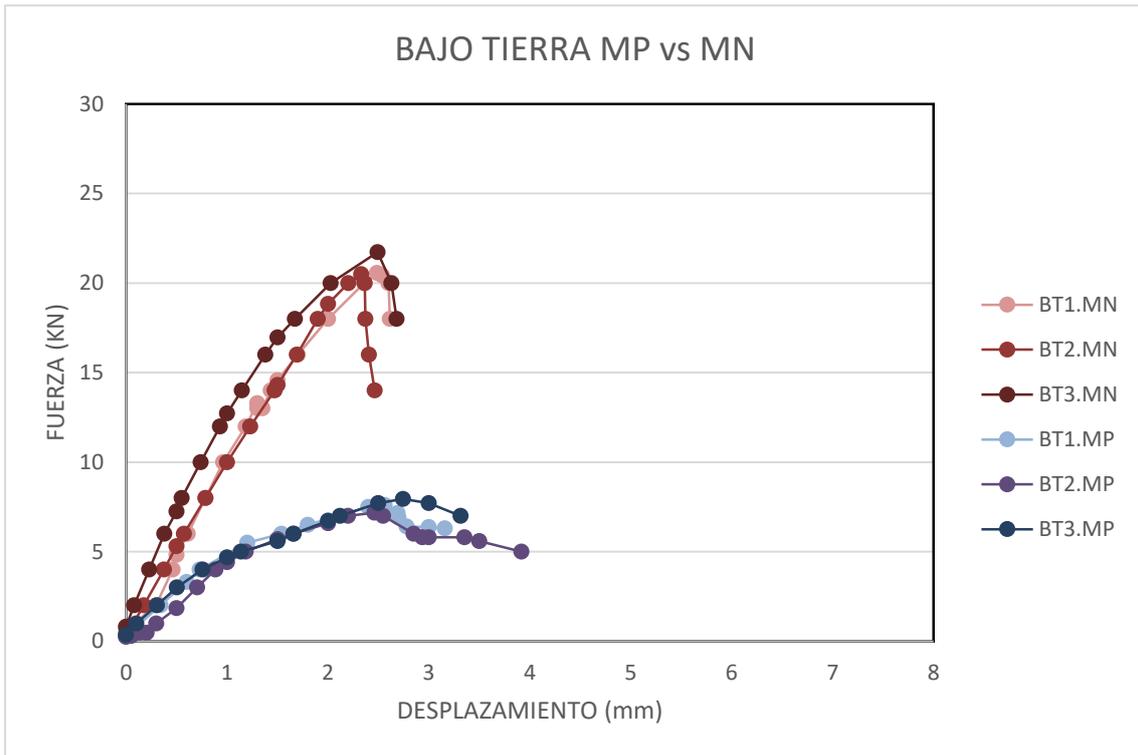
De la Gráfica 6, se observa una variación muy baja en el resultado de la fuerza máxima para la madera natural tratada y sin tratar bajo el ensayo de corte.



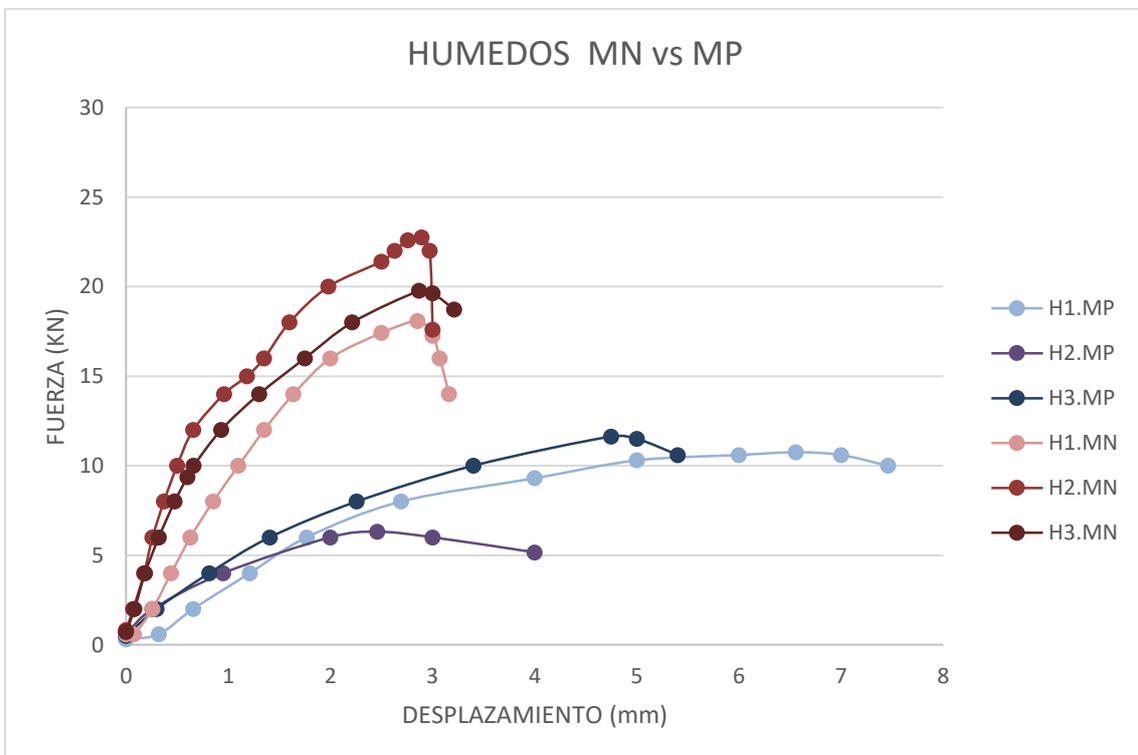
Gráfica 1 Comparación de resultados del ensayo de Corte en muestras de Madera Natural vs Madera Plástica al Aire Libre



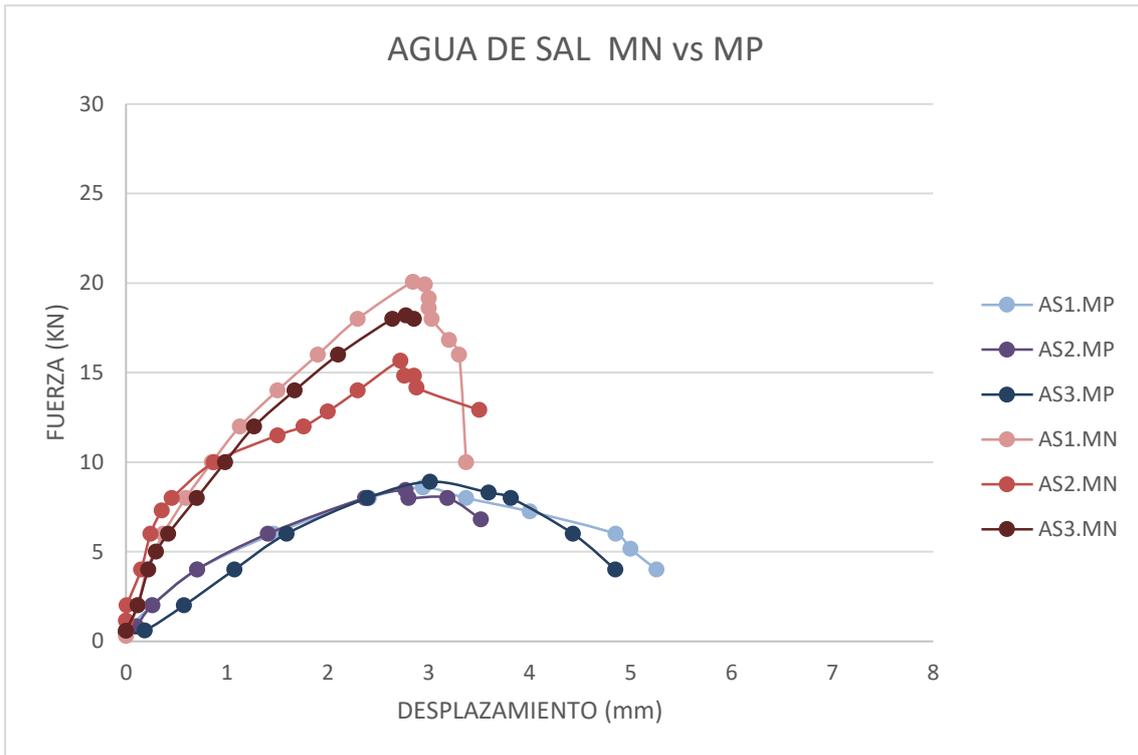
Gráfica 2 Comparación de resultados del ensayo de Corte en muestras de Madera Natural vs Madera Plástica en condiciones secas.



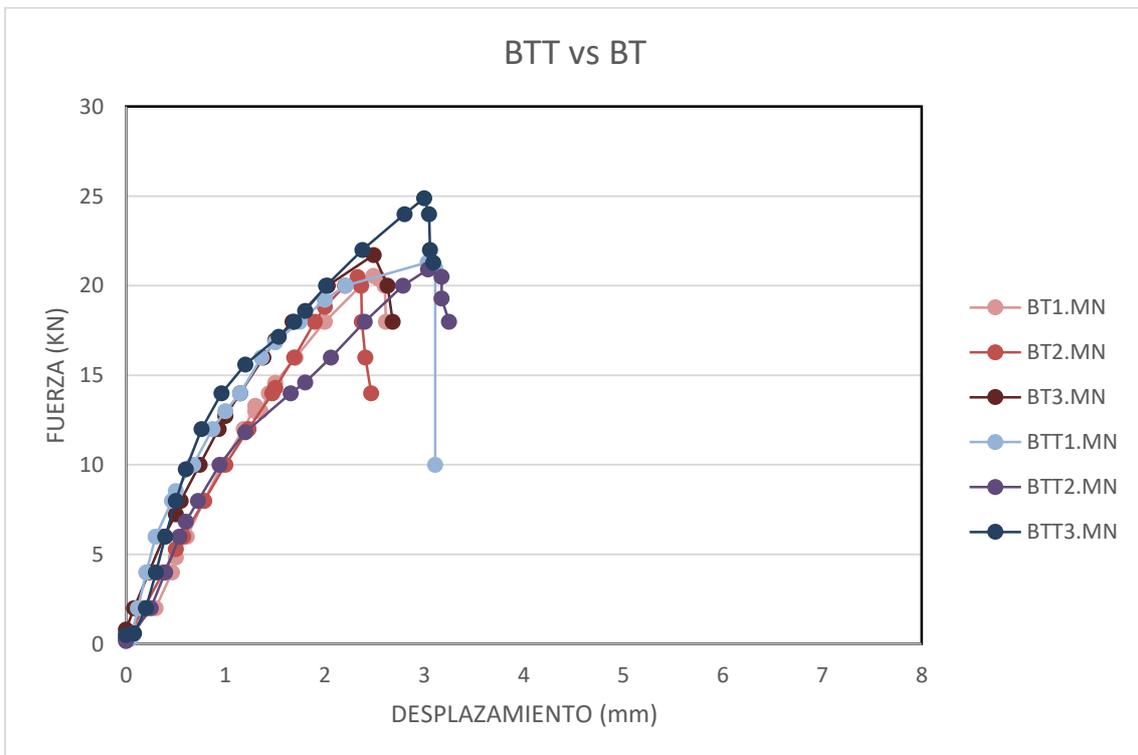
Gráfica 3 Comparación de resultados del ensayo de Corte en muestras de Madera Natural vs Madera Plástica Bajo Tierra.



Gráfica 4 Comparación de resultados del ensayo de Corte en muestras de Madera Natural vs Madera Plástica en condiciones Húmedas



Gráfica 5 Comparación de resultados del ensayo de Corte en muestras de Madera Natural vs Madera Plástica bajo Agua de Sal



Gráfica 6 Comparación de resultados del ensayo de Corte en muestras de Madera Natural vs Madera Natural tratada Bajo Tierra.

Del examen visual de las muestras del ensayo, se puede revelar que las fallas ocurrieron a lo largo de la dirección de las fibras de la madera, lo que se observa desde la Figura 49 y Figura 50. Este mecanismo de falla predominante se debe a la menor resistencia al corte paralelo a las fibras, destacando la anisotropía del material.

De la misma manera, en las muestras plásticas presentadas en la Figura 51, Figura 52 y Figura 53, se revela un patrón de falla distintivo, característico de su naturaleza homogénea a diferencia de la falla de la madera natural antes descrita. La cual resulta en una distribución más equitativa en las tensiones a lo largo de la muestra, lo que se traduce en fracturas que no siguen un patrón direccional predecible. Las líneas de falla se propagan de manera más aleatoria a través de la matriz del material, sin preferencia por ciertos planos, como se ve al examinar la Figura 51, Figura 52 y Figura 53.



*Figura 49 Muestra de los ensayos de corte en madera natural - Vista lateral*



*Figura 51 Muestra de los ensayos de corte en madera plástica - Vista lateral*



*Figura 50 Muestra de los ensayos de corte en madera natural - Vista trasera*



*Figura 52 Muestra de los ensayos de corte en madera plástica - Vista trasera*



*Figura 53 Muestra de los ensayos de corte en madera plástica - Vista lateral*

Finalmente, se presenta la tabla de resultados del ensayo de corte para madera plástica (Tabla 4) y de la madera natural (Tabla 5). En las tablas se incluye el código asignado a cada probeta (muestra ensayada), las dimensiones de esta, la humedad y el esquema de la forma en la que cada una llegó al fallo.

**Tabla 4 Resultados del Ensayo de Corte de Madera Plástica**

<i>NOMBRE</i>	<i>AREA (AXB)</i>	<i>CARGA MAXIMA (KN)</i>	<i>RESISTENCIA AL CORTE (KN/m<sup>2</sup>)</i>	<i>HUMEDAD</i>	<i>ESQUEMA DE LA FALLA</i>
<i>AL1.KP</i>	3.9X4	12.3	7884.62	0.20%	
<i>AL2.KP</i>	4X4.1	6.5	3963.41	0.30%	
<i>AL3.KP</i>	4X4.2	5.5	3273.81	0.30%	
<i>H1.KP</i>	4X4.2	10.8	6428.57	1.80%	
<i>H2.KP</i>	4X4.2	6.3	3750.00	1.90%	
<i>H3.KP</i>	3.9X4.2	11.6	5073.06	2.10%	
<i>BT1.KP</i>	4X4.2	7.6	4523.81	0.50%	

BT2.KP	4X4.2	7.2	4285.71	0.60%	
BT3.KP	4X4.2	7.9	4702.38	0.50%	
S1.KP	4.1X4.2	7	4069.77	0.20%	
S2.KP	4X4.2	7.5	4464.29	0.30%	
S3.KP	4X4.2	8.6	5119.05	0.20%	
AS1.KP	3.9X4.2	8.6	5243.90	2.00%	
AS2.KP	4X4.2	8.4	5000.00	1.50%	
AS3.KP	4X4.2	8.9	5297.62	1.00%	

**Tabla 5 Resultados del Ensayo de Corte de Madera Natural**

NOMBRE	ÁREA (AXB)	CARGA MAX (KN)	RESISTENCIA AL CORTE (KN/m <sup>2</sup> )	HUMEDAD	ESQUEMA DE FALLA
AL1.KN	4.1X4.1	19.34	11505.06	-3%	
AL2.KN	4X4	24.23	15145.75	-3%	
AL3.KN	3.9X4	24.13	15468.27	-3%	
H1.KN	4X4.1	18.07	11018.60	36%	
H2.KN	3.9X4.1	22.76	14231.15	41%	
H3.KN	4X4.1	19.77	12052.13	44%	
BT1.KN	3.9X4	20.57	13185.77	17%	

**Tabla 5 Resultados del Ensayo de Corte de Madera Natural**

NOMBRE	ÁREA (AXB)	CARGA MAX (KN)	RESISTENCIA AL CORTE (KN/m <sup>2</sup> )	HUMEDAD	ESQUEMA DE FALLA
BT2.KN	4X4.1	20.5	12497.20	11%	
BT3.KN	3.9X4.1	21.72	13582.68	21%	
S1.KN	4.1X4	14.41	8784.94	-1%	
S2.KN	4.05X4.1	24.92	15006.69	-1%	
S3.KN	4.1X4.1	24.31	14462.64	-1%	
AS1.KN	4X4.15	20.07	12090.42	42%	
AS2.KN	4X4.15	15.66	9435.06	42%	
AS3.KN	3.9X4.1	18.2	11379.68	32%	

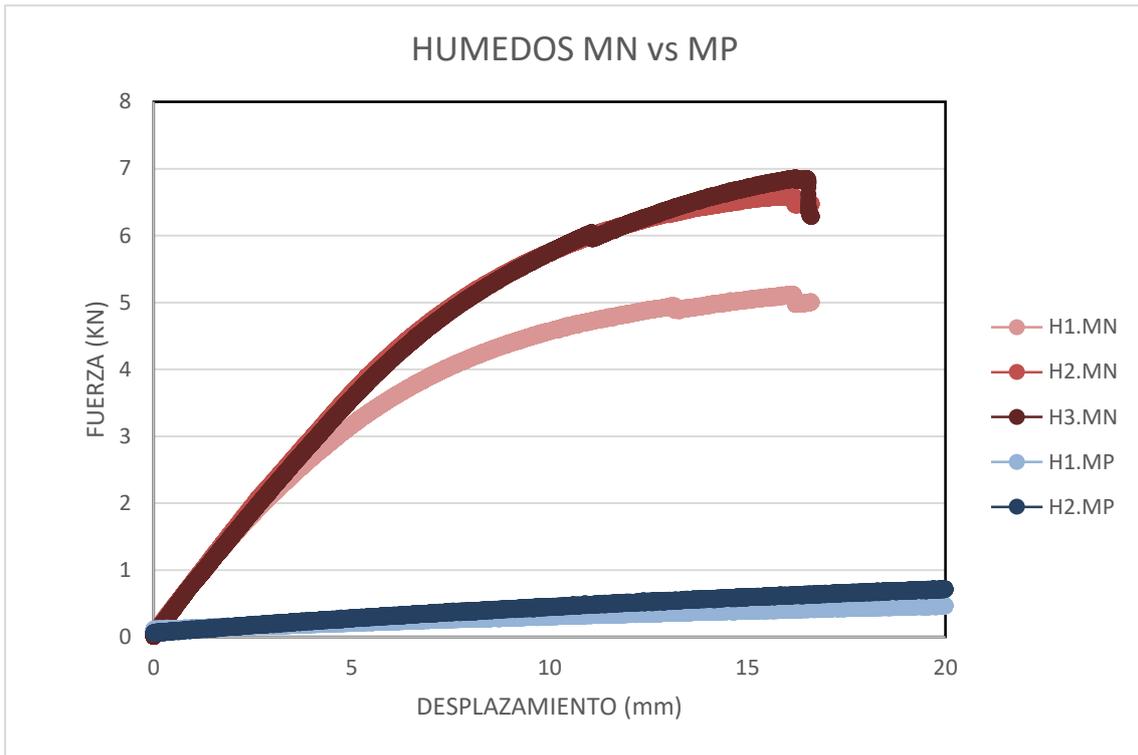
**Tabla 5 Resultados del Ensayo de Corte de Madera Natural**

NOMBRE	ÁREA (AXB)	CARGA MAX (KN)	RESISTENCIA AL CORTE (KN/m <sup>2</sup> )	HUMEDAD	ESQUEMA DE FALLA
BTT1.KN	3.9X4.1	21.31	13329.39	17%	
BTT2.KN	4.15X4.1	20.92	12297.56	17%	
BTT3.KN	3.9X4.1	24.89	15567.73	17%	

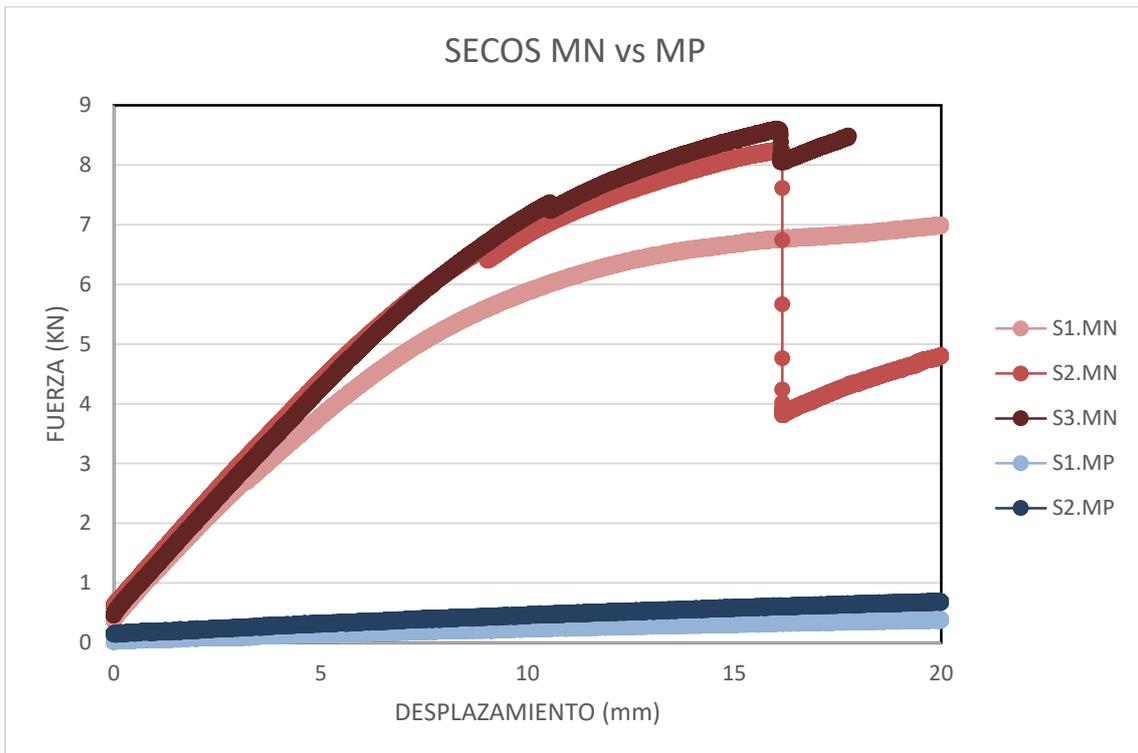
### 4.3. Resultados Ensayos de Flexión

Analizando la Gráfica 7, Gráfica 8 y Gráfica 9 se determina la similitud en el desplazamiento entre los dos tipos de madera ensayados. Determinando una uniformidad en el desplazamiento de cada tipo de muestra ensayada. Se registra una amplia diferencia, entre la Madera Natural y madera plástica, en la resistencia a la fuerza aplicada para alcanzar el punto de falla. Las curvas de la madera natural presentan una variación en la resistencia atribuida a la variabilidad de la estructura interna de la madera, como la presencia de nudos, la orientación de la fibra o las diferentes densidades. Lo que no sucede con la madera plástica debido a una mayor distribución homogénea de su material.

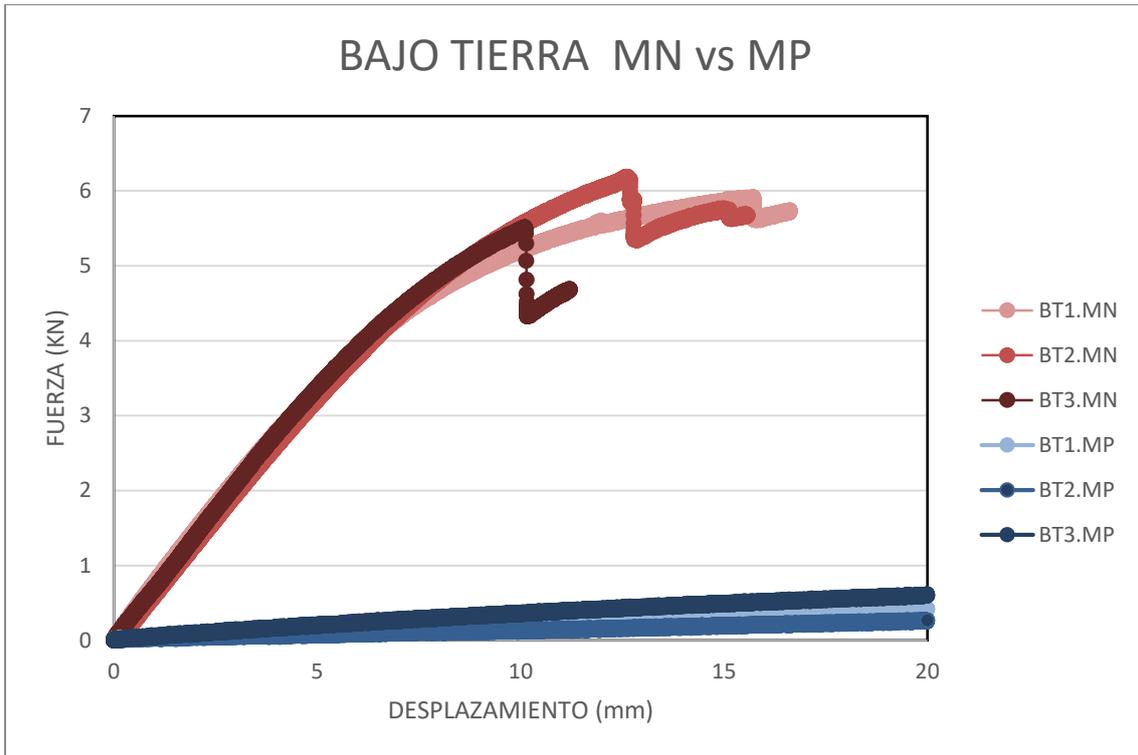
Para la Gráfica 10, se presenta una variación de resistencia a la fuerza aplicada para el ensayo de flexión. Se presenta una incongruencia debido a que la madera natural tratada resiste menos que la madera natural sin tratamiento, lo que se atribuye principalmente a la anisotropía de la madera, lo que contribuye a resultados mecánicos inconsistentes bajo el ensayo de flexión, haciendo de esto un material impredecible. Por otro lado, la Gráfica 9 y Gráfica 10 muestran un inicio de toma de datos diferente de 0, lo que se atribuye a la colocación de los puntos de apoyo durante la realización del ensayo en laboratorio.



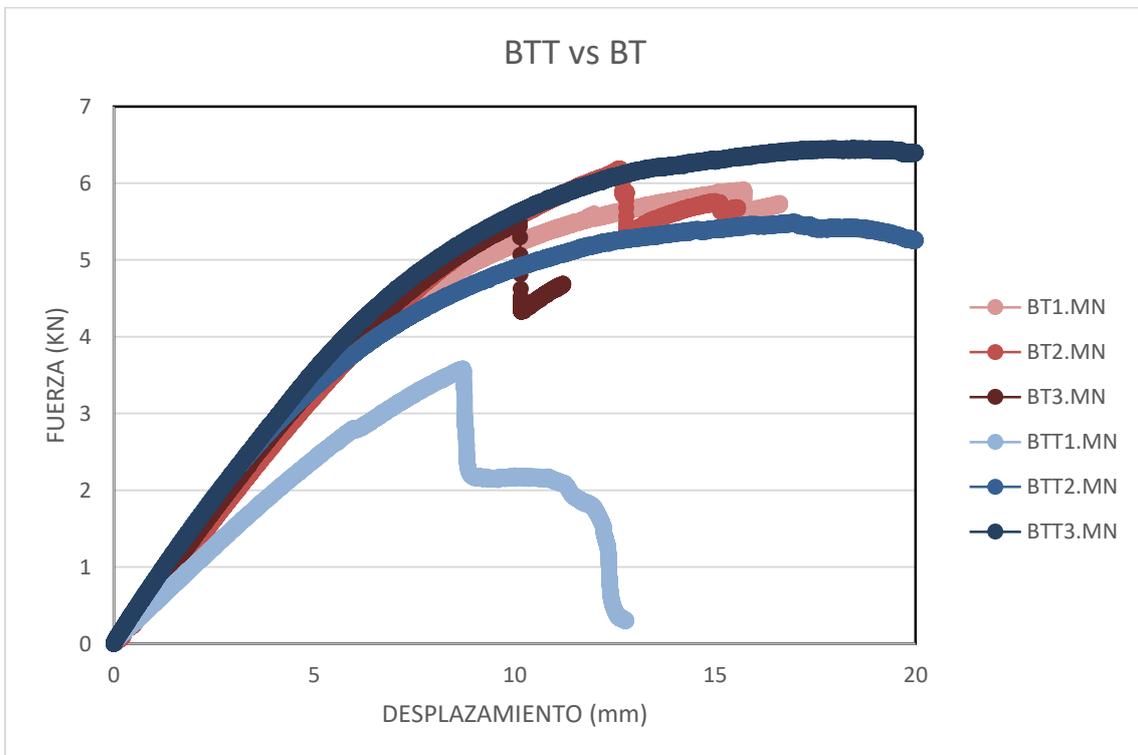
Gráfica 7 Comparación de resultados del ensayo de Flexión en muestras de Madera Natural vs Madera Plástica en condiciones Húmedas.



Gráfica 8 Comparación de resultados del ensayo de Flexión en muestras de Madera Natural vs Madera Plástica en condiciones Secas.



Gráfica 9 Comparación de resultados del ensayo de Flexión en muestras de Madera Natural vs Madera Plástica en condiciones Bajo Tierra.



Gráfica 10 Comparación de resultados del ensayo de Flexión en muestras de Madera Natural vs Madera Natural tratada Bajo Tierra.

En la Figura 54 hasta la Figura 57 se observan las muestras de madera natural y madera plástica, durante el ensayo de flexión en laboratorio. Generando una notable falla en el centro de la madera natural debido a su poca flexibilidad; mientras que la madera plástica no se presenta fisuras notables.



*Figura 54 Ensayos de flexión en madera natural*



*Figura 56 Ensayos de flexión en madera plástica*



*Figura 55 Ensayos de flexión en madera natural*



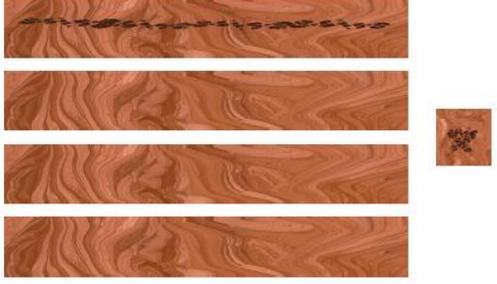
*Figura 57 Ensayos de flexión en madera plástica*

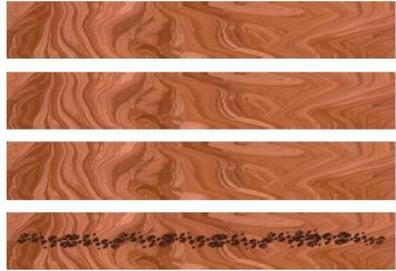


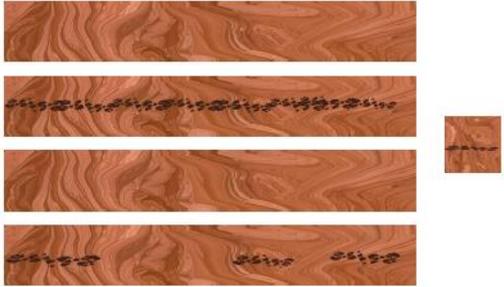
*Figura 58 Muestras de los ensayos de flexión en madera natural*

Finalmente, se presenta la tabla de resultados del ensayo de flexión para madera plástica (Tabla 6) y de la madera natural (Tabla 7). En las tablas se presenta el código correspondiente a la muestra ensayada, la resistencia máxima obtenida y un esquema de las caras de la probeta al momento del fallo.

**Tabla 6 Resultados de ensayos a flexión de madera plástica**

NOMBRE	LONGITUD (cm)	CARGA MAXIMA (KN)	DEFORMACION	HUMEDAD (%)	TIPO DE FALLA	DIBUJO DE FALLA
H1.F	72.9	0.645	31.49	1.1%	Deformación en el centro de la muestra	
H2.F	73	0.985	31.5	1.5%	Deformación en el centro de la muestra	
BT1.F	72.8	0.499	22.88	0.8%	Deformación en el centro de la muestra	

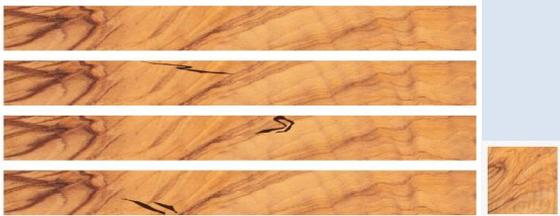
<i>BT2.F</i>	72.8	0.488	23.75	0.8%	Deformación en el centro de la muestra	 
<i>BT3.F</i>	72.8	0.966	31.76	0.6%	Deformación en el centro de la muestra	 
<i>S1.F</i>	73	0.573	33.56	0.0%	Deformación en el centro de la muestra	 

S2.F	72.9	0.871	29.76	0.0%		
------	------	-------	-------	------	--	---

**Tabla 7 Resultados ensayo de flexión madera natural**

<b>NOMBRE</b>	<b>LONGITUD (cm)</b>	<b>CARGA MAXIMA (KN)</b>	<b>DEFORMACIÓN (mm)</b>	<b>HUMEDAD (%)</b>	<b>TIPO DE FALLA</b>	<b>DIBUJO DE FALLA</b>
H1.KN	73	5.13	16.12	25.90%	Tensión entre fibras/Tensión astilladora	
H2.KN	73	7.48	16.14	25.40%	Tensión entre Fibras	
H3.KN	73	7.84	16.22	24.70%	Tensión astilladora	
BT1.KN	72.8	8.85	15.72	18.90%	Tensión entre Fibras / Tensión Simple	

**Tabla 7 Resultados ensayo de flexión madera natural**

NOMBRE	LONGITUD (cm)	CARGA MAXIMA (KN)	DEFORMACIÓN (mm)	HUMEDAD (%)	TIPO DE FALLA	DIBUJO DE FALLA
BT2.KN	72.8	9.01	12.58	17.80%	Tensión entre Fibras / Tensión Simple	
BT3.KN	72.8	11.11	10.1	17.80%	Tensión entre Fibras / Tensión Simple	
S1.KN	72.8	7.02	20.25	0.00%	Tensión Simple / Tensión astilladora	
S2.KN	72.8	8.27	16.11	0.00%	Tensión Simple / Tensión astilladora	

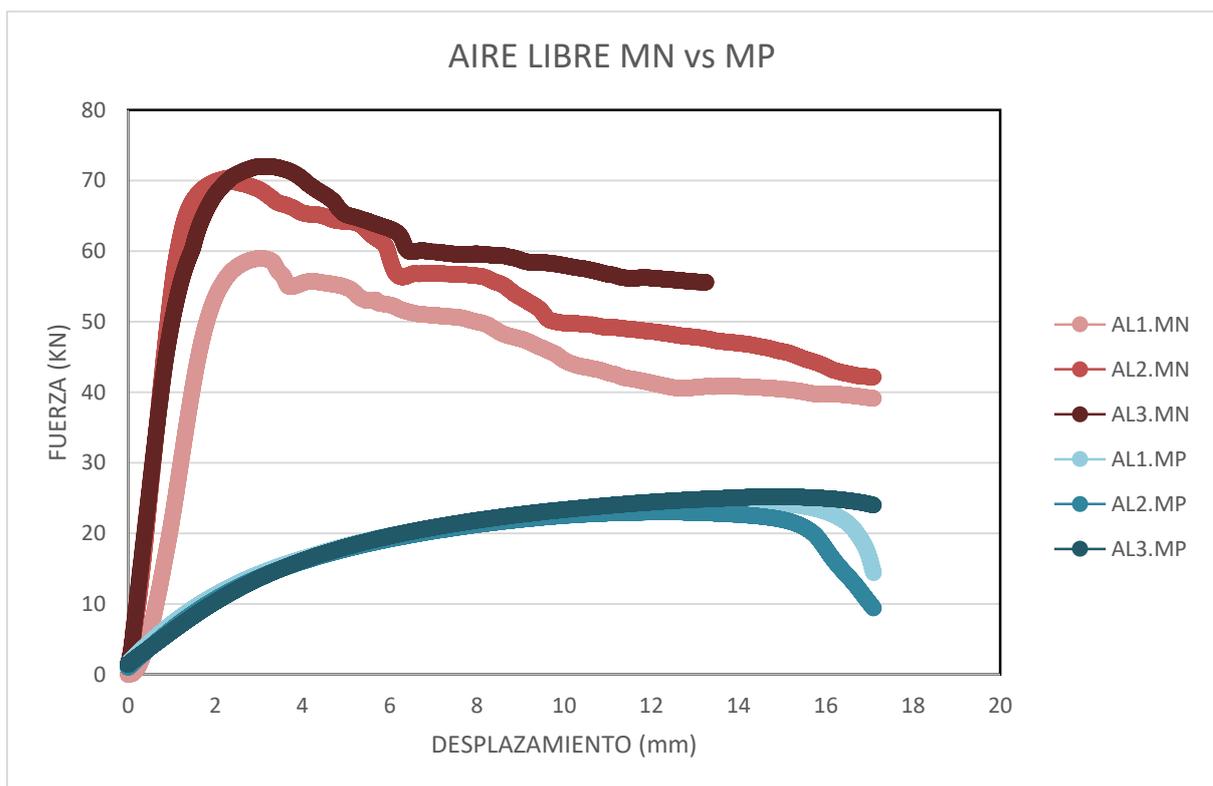
**Tabla 7 Resultados ensayo de flexión madera natural**

<b>NOMBRE</b>	<b>LONGITUD (cm)</b>	<b>CARGA MAXIMA (KN)</b>	<b>DEFORMACIÓN (mm)</b>	<b>HUMEDAD (%)</b>	<b>TIPO DE FALLA</b>	<b>DIBUJO DE FALLA</b>
<i>S3.KN</i>	72.8	8.61	16.01	0.00%	Tensión entre fibras	
<i>BTT1.KN</i>	72.8	4.37	8.71	15.80%	Tensión entre fibras	
<i>BTT2.KN</i>	72.8	6.33	16.95	16.40%	Tensión entre fibras	
<i>BTT3.KN</i>	72.8	7.24	18.45	16.40%	Tensión entre fibras / Brash tension	

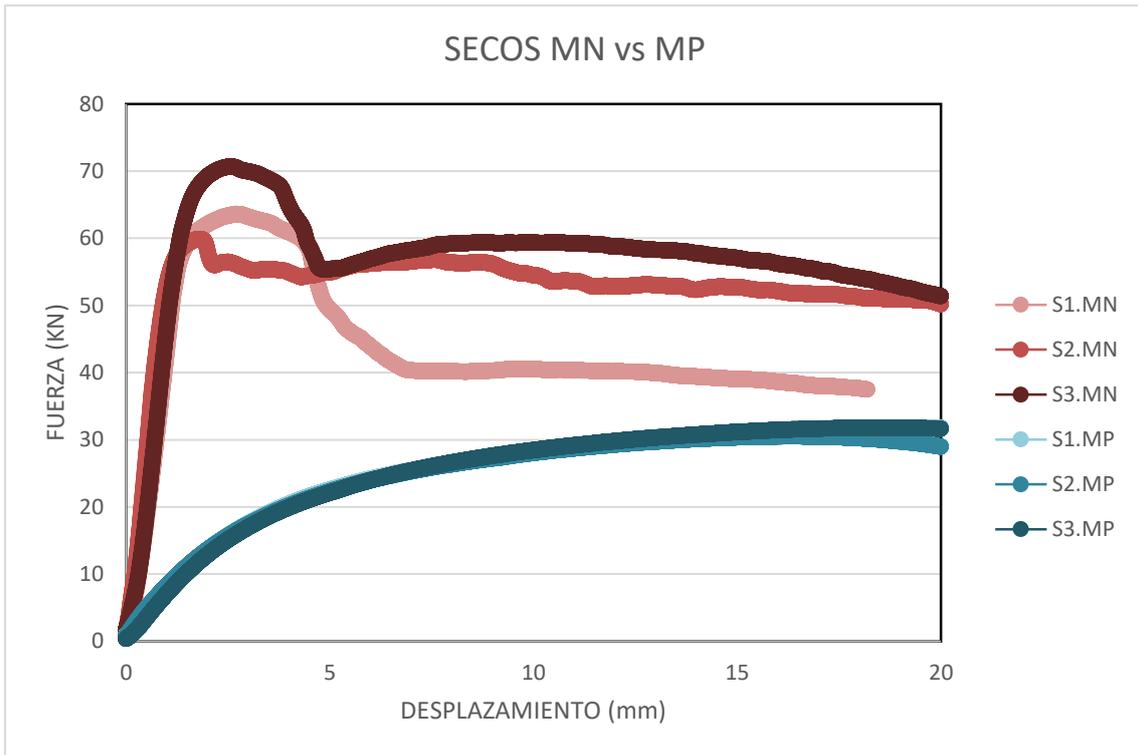
## 4.4. Resultados Ensayos Compresión

Se realiza el análisis comparativo de la Gráfica 11 hasta la Gráfica 15 Gráfica 16, en las cuales se determina un contraste amplio en la resistencia y desplazamiento durante el ensayo de compresión. La madera natural presenta una mayor resistencia a la fuerza aplicada para inducir a la falla, sin embargo, presenta un menor rango en el desplazamiento. Por otro lado, la madera plástica, presenta una mayor uniformidad y un rango más amplio en el desplazamiento con una menor resistencia a la fuerza aplicada para llegar a la falla.

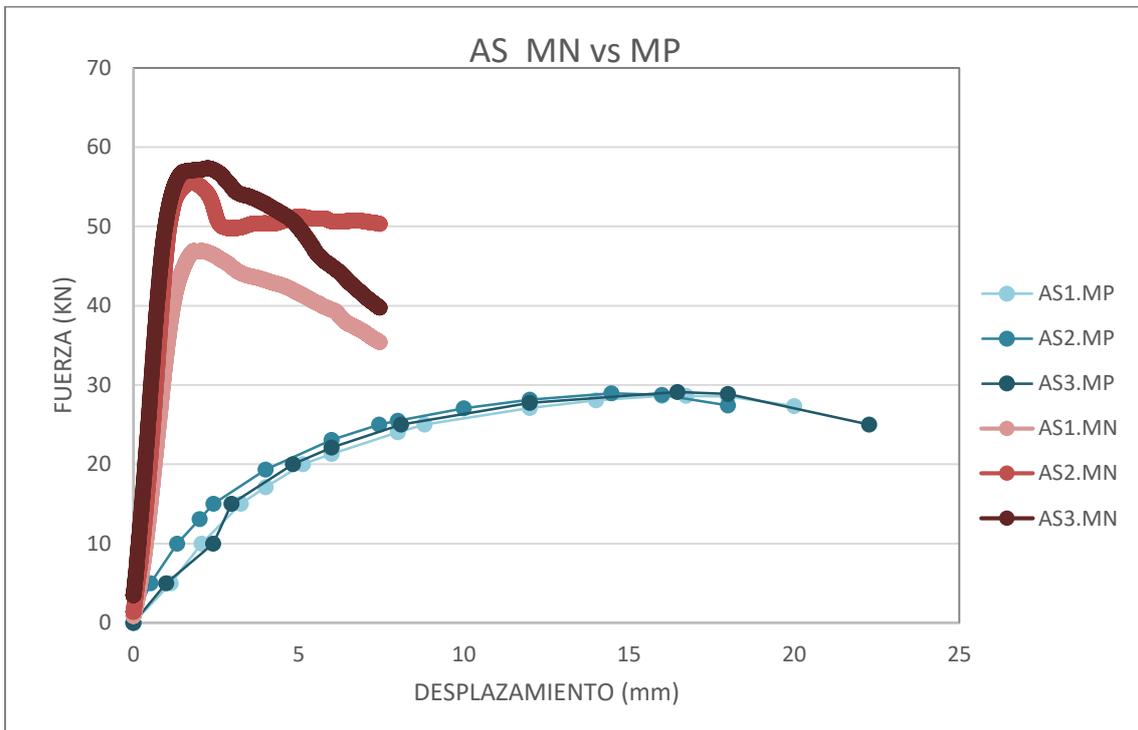
De la Gráfica 16 se interpreta la poca variación que existe entre los rangos en los cuales trabajan la madera natural y madera natural tratada bajo tierra, durante el ensayo de compresión.



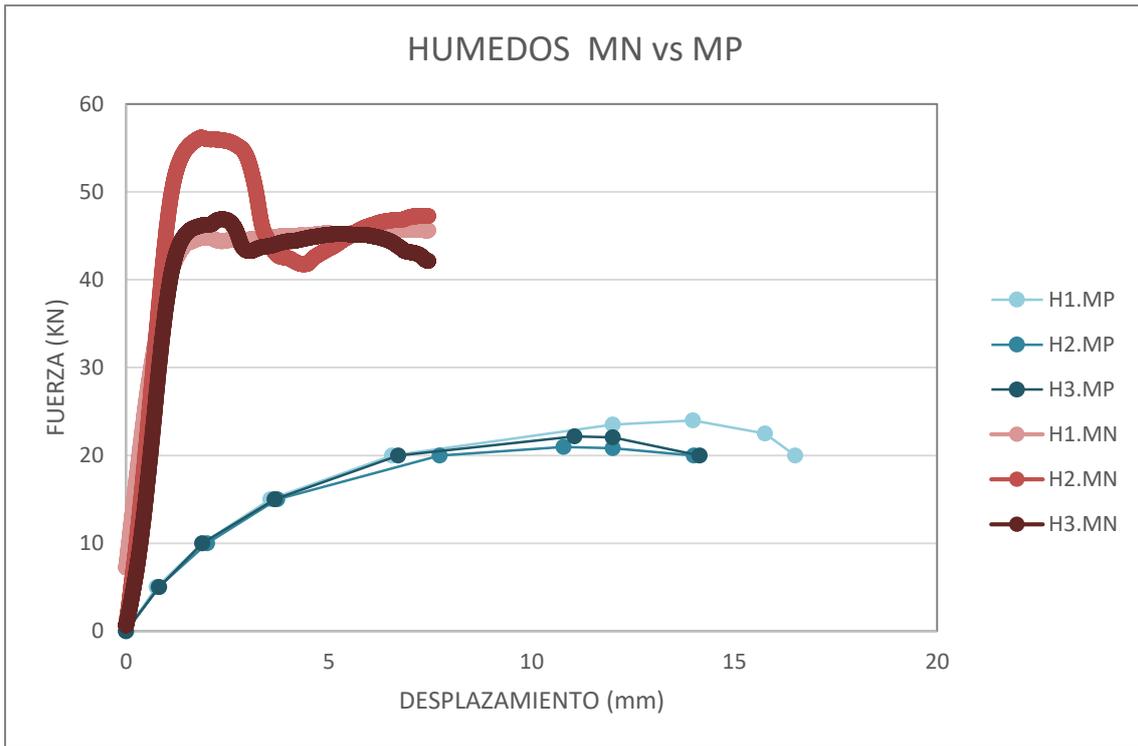
Gráfica 11 Comparación de resultados del ensayo de Compresión en muestras de Madera Natural vs Madera Plástica en condiciones al Aire Libre.



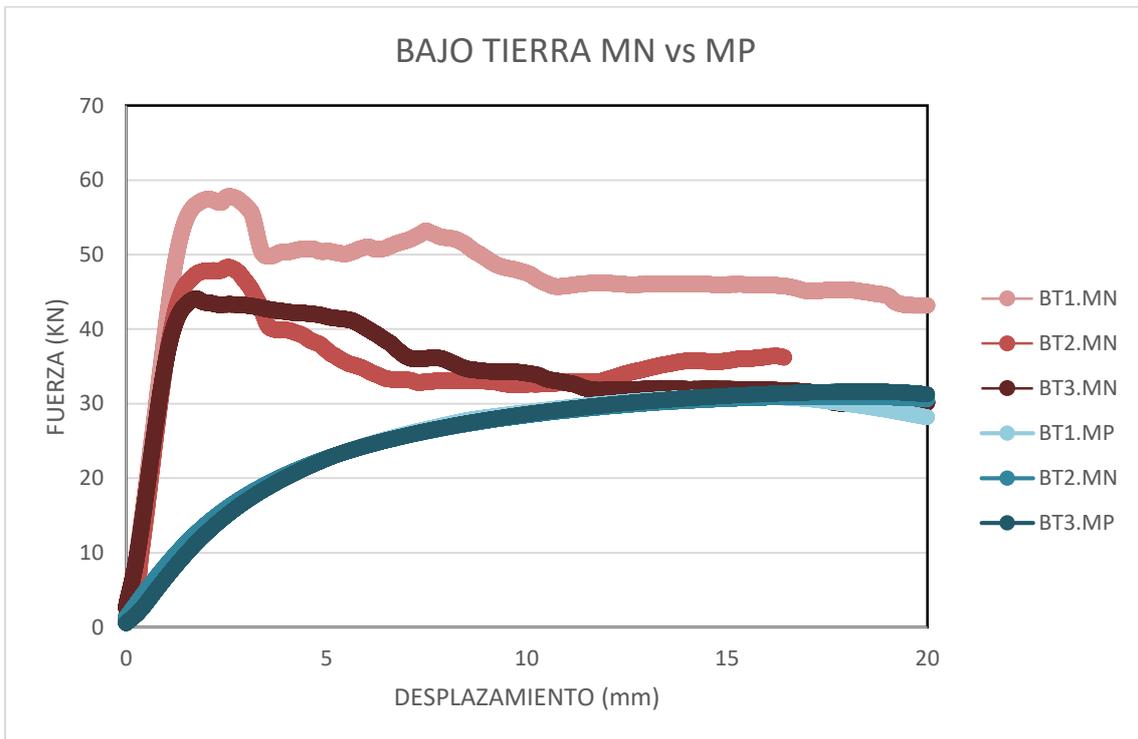
Gráfica 12 Comparación de resultados del ensayo de Compresión en muestras de Madera Natural vs Madera Plástica en condiciones Secas.



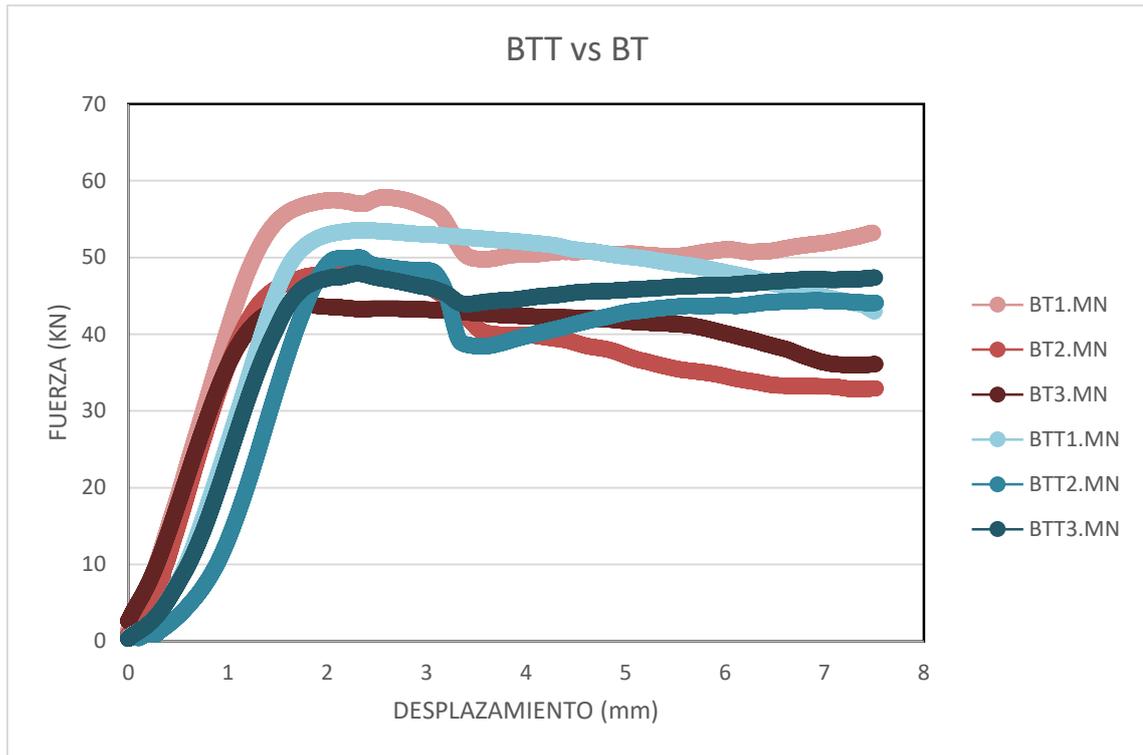
Gráfica 13 Comparación de resultados del ensayo de Compresión en muestras de Madera Natural vs Madera Plástica bajo Agua de Sal.



Gráfica 14 Comparación de resultados del ensayo de Compresión en muestras de Madera Natural vs Madera Plástica en condiciones Húmedas.



Gráfica 15 Comparación de resultados del ensayo de Compresión en muestras de Madera Natural vs Madera Plástica en condiciones Bajo Tierra.



Gráfica 16 Comparación de resultados del ensayo de Compresión en muestras de Madera Natural vs Madera Natural tratada Bajo Tierra.

Como se puede observar en la Figura 61 hasta la Figura 64, las maderas naturales con mayor presencia de humedad tienden a presentar una falla por pandeo (Splitting), haciendo que se separe en dos o más partes durante la prueba de compresión. Esto es debido a que existe mayor presencia de agua entre fibras.

En la Figura 59, Figura 60, Figura 65 y Figura 66, la madera plástica tiene un comportamiento de falla tipo combinado, entre una falla de aplastamiento y pandeo. Es importante mencionar que la posible causa de la falla se dio por falta de compactación del material en el centro del tablón, presentando menor homogeneidad y mayor porosidad en el centro de las muestras.

Para la muestra de la Figura 60, se obtuvo una falla por cuña dividida (splitting). Esto es debido a que la muestra fue tomada del centro del tablón de madera plástica, otorgando una forma más uniforme. Sin embargo, como se mencionó anteriormente tiene un error en la compactación, generando una menor resistencia, por su alta porosidad.



Figura 59 Ensayos de compresión en madera plástica



Figura 61 Ensayos de compresión en madera natural



Figura 60 Ensayos de compresión en madera plástica



Figura 62 Ensayos de compresión en madera natural



Figura 63 Ensayos de compresión en madera natural



Figura 65 Resultados de ensayos de compresión en madera plástica



Figura 64 Ensayos de compresión en madera natural



Figura 66 Resultados de ensayos de compresión en madera plástica



*Figura 67 Resultados de ensayos de compresión en madera natural*



*Figura 68 Resultados de ensayos de compresión en madera natural*



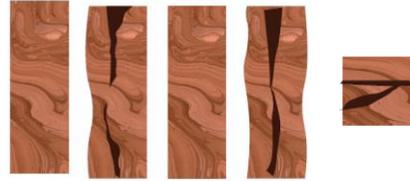
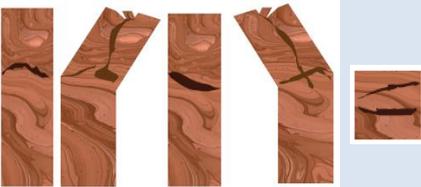
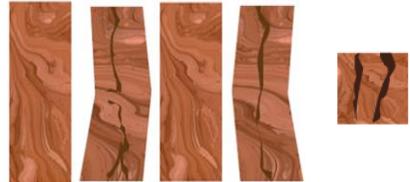
*Figura 69 Muestra ensayada (derecha) y sin ensayar (izquierda) a compresión de madera natural*

Finalmente, se presenta la tabla de resultados del ensayo de compresión para madera plástica (Tabla 8Tabla 6) y de la madera natural (Tabla 9).

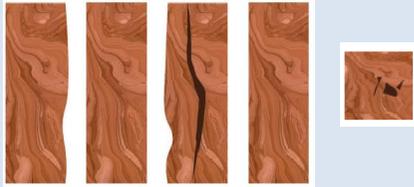
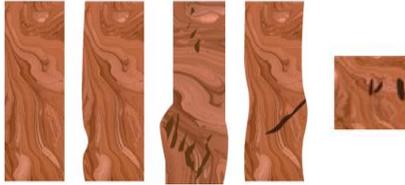
**Tabla 8 Resultados del Ensayo de Compresión de Madera Plástica**

<i>NOMBRE</i>	<i>LONGITUD (m)</i>	<i>AREA (AXB)</i>	<i>CARGA MAXIMA (KN)</i>	<i>DEFORMACION</i>	<i>HUMEDAD (%)</i>	<i>TIPO DE FALLA</i>	<i>DIBUJO DE FALLA</i>
AL1.P	15.4	3.3X4	24.64	13.55	0.10%	Splitting / Crushing	
AL2.P	15.35	4.1X3.2	23.05	12.36	0.40%	Splitting / Crushing	
AL3.P	15.4	4X3.4	5.22	15.06	0.40%	Splitting / Crushing	

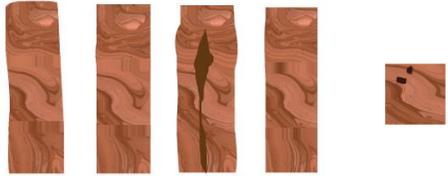
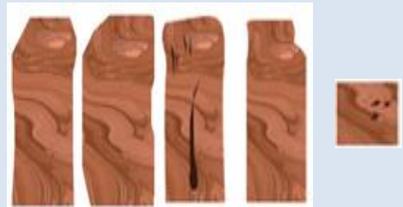
**Tabla 8 Resultados del Ensayo de Compresión de Madera Plástica**

<i>NOMBRE</i>	<i>LONGITUD (m)</i>	<i>AREA (AXB)</i>	<i>CARGA MAXIMA (KN)</i>	<i>DEFORMACION</i>	<i>HUMEDAD (%)</i>	<i>TIPO DE FALLA</i>	<i>DIBUJO DE FALLA</i>
<i>H1.P</i>	15.4	4.1X3	23.99	13.98	0.70%	Splitting / Crushing	
<i>H2.P</i>	15.4	4.1X2.9	20.97	10.79	0.60%	Splitting / Crushing	
<i>H3.P</i>	15.4	3.1X4.1	22.15	11.06	1.00%	Splitting / Crushing	

**Tabla 8 Resultados del Ensayo de Compresión de Madera Plástica**

<i>NOMBRE</i>	<i>LONGITUD (m)</i>	<i>AREA (AXB)</i>	<i>CARGA MAXIMA (KN)</i>	<i>DEFORMACION</i>	<i>HUMEDAD (%)</i>	<i>TIPO DE FALLA</i>	<i>DIBUJO DE FALLA</i>
<i>BT1.P</i>	15.325	4.3X4	30.98	15.45	0.10%	Splitting	
<i>BT2.P</i>	15.275	4.2X4.1	30.95	17.6	0.50%	Splitting	
<i>BT3.P</i>	15.3	4.2X4.2	31.65	18.43	0.40%	Splitting / Crushing	

**Tabla 8 Resultados del Ensayo de Compresión de Madera Plástica**

<i>NOMBRE</i>	LONGITUD (m)	AREA (AXB)	CARGA MAXIMA (KN)	DEFORMACION	HUMEDAD (%)	TIPO DE FALLA	DIBUJO DE FALLA
S1.P	15.325	4.1X4.4	31.86	19.25	0.50%	Brooming / Splitting	
S2.P	15.3	4.2X4.4	30.5	16.44	0.30%	Brooming / Splitting	
S3.P	15.3	4.1X4.2	31.79	18.63	0.10%	Brooming / Splitting	

**Tabla 8 Resultados del Ensayo de Compresión de Madera Plástica**

<i>NOMBRE</i>	<i>LONGITUD (m)</i>	<i>AREA (AXB)</i>	<i>CARGA MAXIMA (KN)</i>	<i>DEFORMACION</i>	<i>HUMEDAD (%)</i>	<i>TIPO DE FALLA</i>	<i>DIBUJO DE FALLA</i>
AS1.P	15.3	4.1X4.2	28.65	16.73	4.20%	Brooming / Splitting	
AS2.P	15.3	4.2X4.1	28.95	14.47	4.20%	Brooming / Splitting	
AS3.P	15.3	4.2X4.2	29.12	16.47	2.50%	Splitting	

**Tabla 9 Resultados del Ensayo de Compresión de Madera Natural**

<i>NOMBRE</i>	<i>LONGITUD (cm)</i>	<i>ÁREA (AXB)</i>	<i>CARGA MAX (KN)</i>	<i>DESPLAZAMIENTO (mm)</i>	<i>HUMEDAD (%)</i>	<i>TIPO DE FALLA</i>	<i>DIBUJO DE FALLA</i>
AL1.CN	15.1	4.1X4	59	3.06	-2.70%	Shearing / Wedge split	
AL2.KN	15.1	4.1X4	70.42	2.32	-3.40%	Shearing / Wedge split	
AL3.KN	15.1	4.1X4.1	72.07	3.16	-3.10%	Shearing	

**Tabla 9 Resultados del Ensayo de Compresión de Madera Natural**

<i>NOMBRE</i>	<b>LONGITUD (cm)</b>	<b>ÁREA (AXB)</b>	<b>CARGA MAX (KN)</b>	<b>DESPLAZAMIENTO (mm)</b>	<b>HUMEDAD (%)</b>	<b>TIPO DE FALLA</b>	<b>DIBUJO DE FALLA</b>
<i>H1.KN</i>	15.1	4.1X4	45.68	7	36.10%	Shearing / Brooming / Spliting	
<i>H2.KN</i>	15.1	4.1X4.05	56.17	1.84	40.60%	Shearing / Brooming	
<i>H3.KN</i>	15.1	4.1X4.1	46.88	2.39	44.40%	Shearing / Brooming	
<i>BT1.KN</i>	15.1	4X4	57.83	2.58	16.90%	Shearing / Brooming	

**Tabla 9 Resultados del Ensayo de Compresión de Madera Natural**

<i>NOMBRE</i>	<i>LONGITUD (cm)</i>	<i>ÁREA (AXB)</i>	<i>CARGA MAX (KN)</i>	<i>DESPLAZAMIENTO (mm)</i>	<i>HUMEDAD (%)</i>	<i>TIPO DE FALLA</i>	<i>DIBUJO DE FALLA</i>
<i>BT2.KN</i>	15.1	4.1X4	48.32	2.55	10.60%	Shearing / Brooming	
<i>BT3.KN</i>	15.1	4.1X4	44.11	1.76	21.00%	Shearing / Brooming	
<i>S1.KN</i>	15.1	4.1X4.05	63.61	2.7	-0.80%	Shearing	

**Tabla 9 Resultados del Ensayo de Compresión de Madera Natural**

NOMBRE	LONGITUD (cm)	ÁREA (AXB)	CARGA MAX (KN)	DESPLAZAMIENTO (mm)	HUMEDAD (%)	TIPO DE FALLA	DIBUJO DE FALLA
S2.KN	15.1	4.1X4	59.9	1.78	-0.70%	Shearing	
S3.KN	15.1	4.1X4.05	70.68	2.55	-0.90%	Shearing / Compression and shearing parallel to grain	
AS1.KN	15.1	4.1X4	46.93	1.83	42.50%	Shearing	

**Tabla 9 Resultados del Ensayo de Compresión de Madera Natural**

NOMBRE	LONGITUD (cm)	ÁREA (AXB)	CARGA MAX (KN)	DESPLAZAMIENTO (mm)	HUMEDAD (%)	TIPO DE FALLA	DIBUJO DE FALLA				
AS2.KN	15.1	4.1X4	55.56	1.76	42.50%	Shearing					
AS3.KN	15.1	4.05X4.05	57.34	2.23	32.20%	Splitting					
BTT1.KN	15.15	4X4.05	53.55	2.36	16.60%	Shearing / Brooming					
BTT2.KN	15.15	4.05X4.05	49.98	2.33	16.60%	Shearing					

**Tabla 9 Resultados del Ensayo de Compresión de Madera Natural**

<i>NOMBRE</i>	<i>LONGITUD (cm)</i>	<i>ÁREA (AXB)</i>	<i>CARGA MAX (KN)</i>	<i>DESPLAZAMIENTO (mm)</i>	<i>HUMEDAD (%)</i>	<i>TIPO DE FALLA</i>	<i>DIBUJO DE FALLA</i>
BTT3.KN	15.1	4.05X4.05	47.91	8.66	16.90%	Shearing	

## 4.5. Resultados Ensayos Físicos

En la Figura 70 se muestran los resultados del ensayo de resistencia al fuego de la madera natural y plástica. En la Figura 71 se observa en detalle el derretimiento del material. En este caso, la madera no se incendia, al contrario, este se sublima. Por otro lado, en la Figura 72 se observa en detalle la madera natural. En este caso la muestra se carbonizó casi en su totalidad.



*Figura 70 Resultados de resistencia al fuego de madera natural (izquierda) y madera plástica (derecha)*



*Figura 72 Resultado de madera natural, la muestra en carbonización.*



*Figura 71 Resultado de madera plástica, la muestra se sublima.*

En la Tabla 10 se muestra la variación de peso luego del ensayo de resistencia al fuego de la madera natural. También, en la Tabla 11 se detallan los resultados de madera plástica. En estos resultados se nota un mayor desgaste en la madera plástica en comparación con la madera natural.

Tabla 10 Resultados de resistencia al fuego de la Madera Natural

**DESGASTE FUEGO MADERA NATURAL**

<b>NOMBRE</b>	<b>DESGASTE (g)</b>	<b>DESGASTE (%)</b>
S1.DF	8,00	18%
S2.DF	7,00	16%
S3.DF	9,00	21%
<b>PROMEDIO S</b>	<b>8,00</b>	<b>18%</b>
AS1.DF	11,00	14%
AS2.DF	9,00	12%
AS3.DF	7,00	9%
<b>PROMEDIO AS</b>	<b>9,00</b>	<b>12%</b>
AL1.DF	8,00	18%
AL2.DF	9,00	21%
AL3.DF	8,00	18%
<b>PROMEDIO AL</b>	<b>8,33</b>	<b>19%</b>
H1.DF	10,00	13%
H2.DF	8,00	10%
H3.DF	9,00	11%
<b>PROMEDIO H</b>	<b>9,00</b>	<b>11%</b>

Tabla 11 Resultados de resistencia al fuego de la Madera Plástica

**DESGASTE FUEGO MADERA PLASTICA**

<b>NOMBRE</b>	<b>DESGASTE (g)</b>	<b>DESGASTE (%)</b>
S1.DF	13,00	22%
S2.DF	12,00	20%
S3.DF	11,00	17%
<b>PROMEDIO S</b>	<b>12,00</b>	<b>20%</b>
AS1.DF	11,00	18%
AS2.DF	12,00	19%
AS3.DF	11,00	17%
<b>PROMEDIO AS</b>	<b>11,33</b>	<b>18%</b>
AL1.DF	11,00	18%
AL2.DF	12,00	20%
AL3.DF	12,00	19%

### DESGASTE FUEGO MADERA PLASTICA

NOMBRE	DESGASTE (g)	DESGASTE (%)
<b>PROMEDIO AL</b>	<b>11,67</b>	<b>19%</b>
H1.DF	11,00	17%
H2.DF	13,00	20%
H3.DF	12,00	19%
<b>PROMEDIO H</b>	<b>12,00</b>	<b>18%</b>

En la Figura 73 se muestra el desgaste obtenido luego del ensayo de resistencia a la abrasión. En la imagen se nota un mayor desgaste en la zona central de la muestra. Así mismo, el desgaste en la madera natural es más notorio que en la plástica.



Figura 73 Resultados de ensayo de resistencia a la abrasión

Se detalla en porcentaje de desgaste por abrasión para la madera natural y madera plástica en la Tabla 12 y Tabla 13 respectivamente. En concordancia con lo visto en la Figura 73, se tiene mayor porcentaje de desgaste en la madera natural.

Tabla 12 Resultados de abrasión - Madera Natural

### DESGASTE ABRASIÓN MADERA NATURAL

NOMBRE	DESGASTE (g)	DESGASTE (%)
S1.DA	8,00	5%
S2.DA	8,00	5%
S3.DA	7,00	4%
<b>PROMEDIO S</b>	<b>7,67</b>	<b>5%</b>

**DESGASTE ABRASIÓN MADERA NATURAL**

NOMBRE	DESGASTE (g)	DESGASTE (%)
BT1.DA	8,00	5%
BT2.DA	7,00	4%
BT3.DA	7,00	4%
<b>PROMEDIO AS</b>	<b>7,33</b>	<b>4%</b>
AL1.DA	9,00	6%
AL2.DA	9,00	6%
AL3.DA	10,00	6%
<b>PROMEDIO AL</b>	<b>9,33</b>	<b>6%</b>
H1.DA	8,00	3%
H2.DA	8,00	3%
H3.DA	7,00	2%
<b>PROMEDIO H</b>	<b>7,67</b>	<b>3%</b>

Tabla 13 Resultados de abrasión - Madera Plástica

**DESGASTE ABRASIÓN MADERA PLASTICA**

NOMBRE	DESGASTE PESO	DESGASTE (%)
S1.DA	5,00	2%
S2.DA	7,00	3%
S3.DA	6,00	3%
<b>PROMEDIO S</b>	<b>6,00</b>	<b>2,7%</b>
BT1.DA	6,00	2%
BT2.DA	4,00	2%
BT3.DA	5,00	2%
<b>PROMEDIO AS</b>	<b>5,00</b>	<b>2,1%</b>
AL1.DA	6,00	3%
AL2.DA	7,00	4%
AL3.DA	5,00	2%
<b>PROMEDIO AL</b>	<b>6,00</b>	<b>2,9%</b>
H1.DA	3,00	1%
H2.DA	4,00	1%
H3.DA	6,00	3%
<b>PROMEDIO H</b>	<b>4,33</b>	<b>2,0%</b>

En la Tabla 14 se presenta el detalle de los resultados del ensayo de abrasión. Estos datos incluyen pesos iniciales y pesos finales para calcular sus porcentajes de desgaste.

Tabla 14 Análisis de Resultados del Ensayo de Abrasión

NOMBRE	Mn				Mp				Diferencia de desgaste (%)
	Peso inicial (gr)	Peso (gr) (previo ensayo)	Después del ensayo	Desgaste (%)	Peso inicial (gr)	Peso (gr) (previo ensayo)	Después del ensayo	Desgaste (%)	
S1.DA	165	164	156	5%	237	237	232	2%	3%
S2.DA	166	164	156	5%	253	253	246	3%	2%
S3.DA	161	160	153	4%	190	190	184	3%	1%
<b>PROMEDIO S</b>				<b>5%</b>				<b>3%</b>	<b>2%</b>
BT1.DA	157	176	168	5%	240	241	235	2%	3%
BT2.DA	165	177	170	4%	243	245	241	2%	2%
BT3.DA	167	186	179	4%	235	237	232	2%	2%
<b>PROMEDIO AS</b>				<b>4%</b>				<b>2%</b>	<b>2%</b>
AL1.DA	160	156	147	6%	192	192	186	3%	3%
AL2.DA	165	163	154	6%	200	199	192	4%	2%
AL3.DA	161	157	147	6%	252	252	247	2%	4%
<b>PROMEDIO AL</b>				<b>6%</b>				<b>3%</b>	<b>3%</b>
H1.DA	159	295	287	3%	202	205	202	1%	2%
H2.DA	151	289	281	3%	298	301	297	1%	2%
H3.DA	154	285	278	2%	189	193	187	3%	-1%
<b>PROMEDIO H</b>				<b>3%</b>				<b>2%</b>	<b>1%</b>

Se puede observar que el desgaste que tiene la madera natural va a depender de su contenido de humedad, ya que al estar en estado seco o al aire libre existe más desgaste que cuando tiene más contenido de humedad. Lo que no ocurre con la madera plástica, ya que es un material que retiene poca humedad, el desgaste que se da en las diferentes condiciones (seco, aire libre, bajo tierra y húmedo) es menos variable.

Para la resistencia al fuego, el ensayo se realizó por un tiempo determinado, hasta observar cambios en los cubos. Se obtuvieron los resultados de la Tabla 15.

Tabla 15 Análisis de Resultados del Ensayo de Resistencia al Fuego

NOMBRE	MN				MP				Diferencia de desgaste (%)
	Peso inicial (gr)	Peso (gr) (previo ensayo)	Después del ensayo	Desgaste (%)	Peso inicial (gr)	Peso (gr) (previo ensayo)	Después del ensayo	Desgaste (%)	
S1.DA	44	44	36	18%	60	60	47	22%	4%
S2.DA	45	45	38	16%	59	59	47	20%	4%
S3.DA	44	43	34	21%	65	65	54	17%	-4%
<b>PROMEDIO S</b>				<b>18%</b>				<b>20%</b>	2%
BT1.DA	44	76	65	14%	61	62	51	18%	4%
BT2.DA	46	77	68	12%	60	62	50	19%	7%
BT3.DA	47	80	73	9%	63	64	53	17%	8%
<b>PROMEDIO AS</b>				<b>12%</b>				<b>18%</b>	6%
AL1.DA	44	44	36	18%	61	61	50	18%	0%
AL2.DA	45	43	34	21%	60	60	48	20%	-1%
AL3.DA	46	45	37	18%	64	64	52	19%	1%
<b>PROMEDIO AL</b>				<b>19%</b>				<b>19%</b>	0%
H1.DA	44	80	70	13%	66	66	55	17%	4%
H2.DA	46	81	73	10%	66	66	53	20%	10%
H3.DA	48	83	74	11%	62	63	51	19%	8%
<b>PROMEDIO H</b>				<b>11%</b>				<b>18%</b>	7%



## ANÁLISIS DE RESULTADOS DEL ENSAYO DE COMPRESIÓN

	FUERZA (KN)				TENSIÓN (Mpa)				DEFORMACIÓN (%)				DESPLAZAMIENTO (mm)			
<i>BTT</i>	48.95		63%	37%	21.70		82%	18%	2.94		367%	267%	4.45		371%	271%

En la Tabla 16 se presentan las comparaciones entre la madera natural y la madera plástica bajo el ensayo de compresión, revelando diferencias significativas en sus propiedades mecánicas.

La madera natural falla por aplastamiento perpendicular a la fibra, en contraste con las muestras de madera plástica, que debido a su mezcla homogénea presentan una resistencia a compresión más uniforme en todas sus direcciones, aunque es inferior a la resistencia de la madera natural. En condiciones al aire libre, la madera natural resiste una fuerza de compresión máxima de 71.25 KN. Comparado con la madera plástica en las mismas condiciones, que resiste 23.85 KN, se evidencia que la madera natural tiene una mayor capacidad de carga, lo que demuestra más resistencia y rigidez que la madera plástica.

Para la misma condición de contorno, la madera natural es 55% superior a la madera plástica en el análisis de tensión, lo que indica una mayor resistencia interna del material. La madera natural muestra una mejor relación resistencia vs. deformación, soportando cargas más altas con menos deformación. En la Tabla 16 se observa que la madera plástica tiene una deformación 4.5 veces mayor que la madera natural bajo carga, lo que refleja la predictibilidad de la madera plástica en contraste con la madera natural.

Analizando de manera general la Tabla 16, se puede determinar que los resultados de resistencia a la fuerza de compresión de la madera natural son superiores a los de la muestra de madera plástica, sin importar las condiciones de contorno. De igual manera, el comportamiento en tensión y deformación se presenta de manera similar a los resultados anteriormente expuestos.

Asimismo, en la Tabla 16 se observa una variación de la resistencia a la fuerza de compresión de las muestras secas o al aire libre, siendo estas las condiciones más favorables, en comparación con aquellas que contienen mayor presencia de humedad. La diferencia en la resistencia de la madera natural entre las condiciones anteriores es de 35%. En contraste, para las muestras de madera plástica, la variación en resistencia entre condiciones secas y con

mayor humedad es del 2% al 8%. Esto representa una clara ventaja de la madera plástica sobre la madera natural, debido a su baja capacidad de absorción.

Este análisis sugiere que la madera natural es superior en términos de resistencia mecánica y rigidez, mientras que la madera plástica ofrece mayor ductilidad y posiblemente mayor resistencia a factores ambientales como la humedad.

*Tabla 17 Análisis de Resultados del Ensayo de Flexión*

**ANÁLISIS DE RESULTADOS DEL ENSAYO DE FLEXIÓN**

	FUERZA (KN)				TENSIÓN (Mpa)				DEFORMACIÓN (%)				DESPLAZAMIENTO (mm)			
	M.N	M.P	Trabaja a	Pierde el	M.N	M.P	Trabaja a	Pierde el	M.N	M.P	Trabaja a	Gana el	M.N	M.P	Trabaja a	Gana el
H	6.82	0.81	12%	88%	73.28	10.69	15%	85%	16.16	31.50	195%	95%	22578.42	1861.55	8%	92%
BT	9.66	0.65	7%	93%	112.07	9.29	8%	92%	12.80	26.13	204%	104%	33499.95	2308.53	7%	93%
S	7.96	0.72	9%	91%	92.39	9.21	10%	90%	17.45	31.66	181%	81%	27107.23	2474.96	9%	91%
BTT	5.98		12%	88%	69.38		13%	87%	14.70		215%	115%	20537.77		12%	88%

Al igual que los resultados del ensayo de compresión, los resultados del ensayo de flexión de la madera natural y la madera plástica muestran un contraste importante en sus propiedades mecánicas. Este estudio evalúa la resistencia a la flexión y la deformación de ambos materiales, considerando también el impacto de la humedad y condiciones de contorno diferentes.

En la Tabla 17 la madera natural demuestra una resistencia a la flexión superior a la de la madera plástica. En condiciones secas siendo la condición más optima, la madera natural demuestra una resistencia a la flexión de 7.96 KN, superando notablemente los 0.72 KN de la madera plástica. Esta diferencia se refleja en una resistencia a la tensión 89% superior en la madera natural. Esta característica se atribuye a su estructura fibrosa y la disposición longitudinal de sus células, que le permiten soportar mayores cargas sin fallar.

En contraste, la madera plástica exhibe una deformación que supera el doble de la madera natural. La estructura homogénea y la ausencia de fibras direccionales facilitan esta mayor deformación; como se mencionó anteriormente facilita la predictibilidad del material.

Cabe recalcar que no se observa una variación significativa en la resistencia a flexión de ninguno de los dos materiales cuando se exponen a condiciones de humedad.

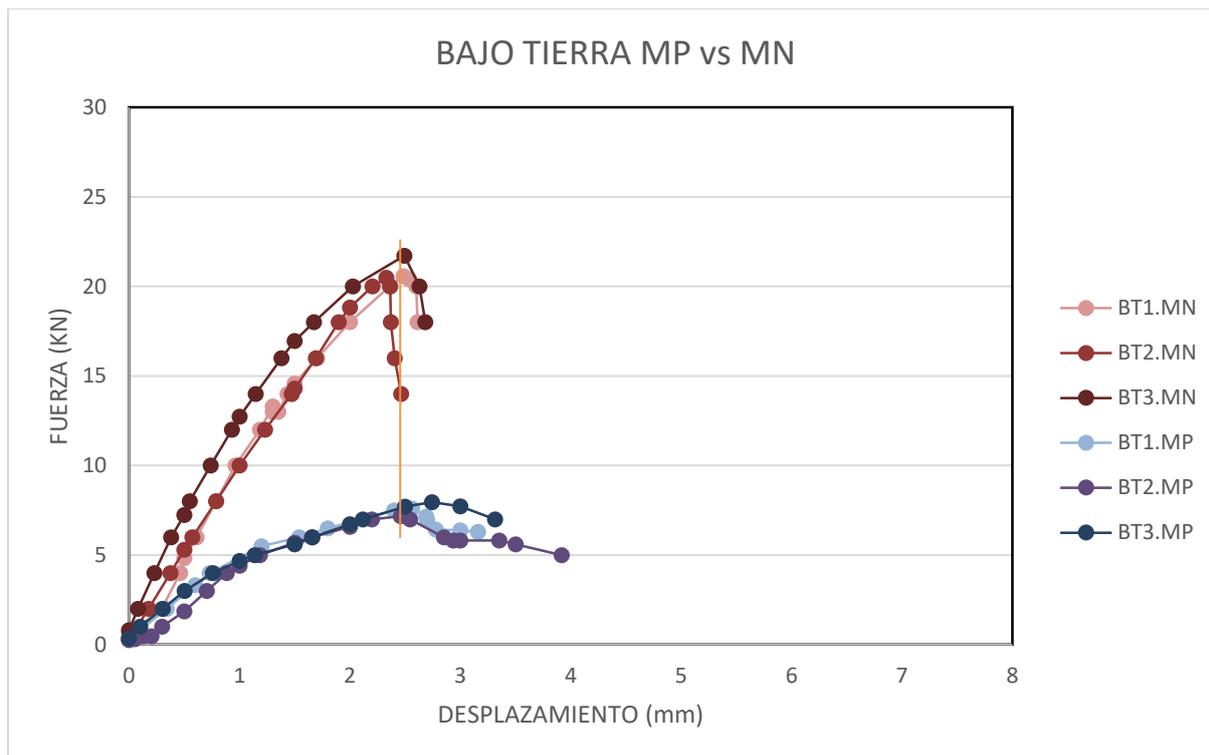
Tabla 18 Análisis de Resultados del Ensayo de Corte

**ANÁLISIS DE RESULTADOS DEL ENSAYO DE CORTE**

	FUERZA (KN)				TENSIÓN (MPa)				DESPLAZAMIENTO (mm)			
	M.N	M.P	Trabaja a	Pierde el	M.N	M.P	Trabaja a	Pierde el	M.N	M.P	Trabaja a	Gana el
AL	22.57	8.12	36%	64%	14.04	4.76	34%	66%	2.48	3.95	160%	60%
S	21.21	7.72	36%	64%	10.88	4.63	43%	57%	2.86	2.31	81%	-19%
AS	17.98	8.65	48%	52%	11.12	5.30	48%	52%	2.78	2.91	105%	5%
H	20.20	9.56	47%	53%	9.10	5.89	65%	35%	2.87	4.59	160%	60%
BT	20.93	7.57	36%	64%	13.09	4.60	35%	65%	2.44	2.59	106%	6%
BTT	22.38		34%	66%	13.73		34%	66%	3.02		86%	-14%

De igual forma los resultados presentados en la , para el ensayo de corte, destaca una resistencia al corte de la madera natural superior a la madera plástica. Sin embargo, estos resultados no presentan variaciones significativas en presencia a la humedad debido al mecanismo de la falla.

Para un mejor análisis y comparación de los datos obtenidos de los ensayos realizados en laboratorio, se utilizó desviación estándar, con el cual se identificaron los valores atípicos que podrían señalar errores experimentales o fenómenos que merezcan una mayor investigación, como la cercanía al núcleo del tronco en madera natural o la cantidad y ubicación de la porosidad en las muestras de madera plástica.



Gráfica 17 Bajo Tierra Madera Plástica y Madera Natural

Como se puede observar en la Gráfica 17, la madera natural y la madera plástica muestran un rango similar de plasticidad durante el ensayo de corte, lo que se puede evidenciar con la línea recta que conecta los picos de ambas gráficas. Esta semejanza indica que tanto las muestras de MN y MP comienzan a deformarse plásticamente en un rango semejante de esfuerzo aplicado bajo condiciones de corte. Con esta respuesta se considera que la madera plástica podría ser un sustituto viable de la madera natural en algunas aplicaciones donde las propiedades de corte sean importantes.

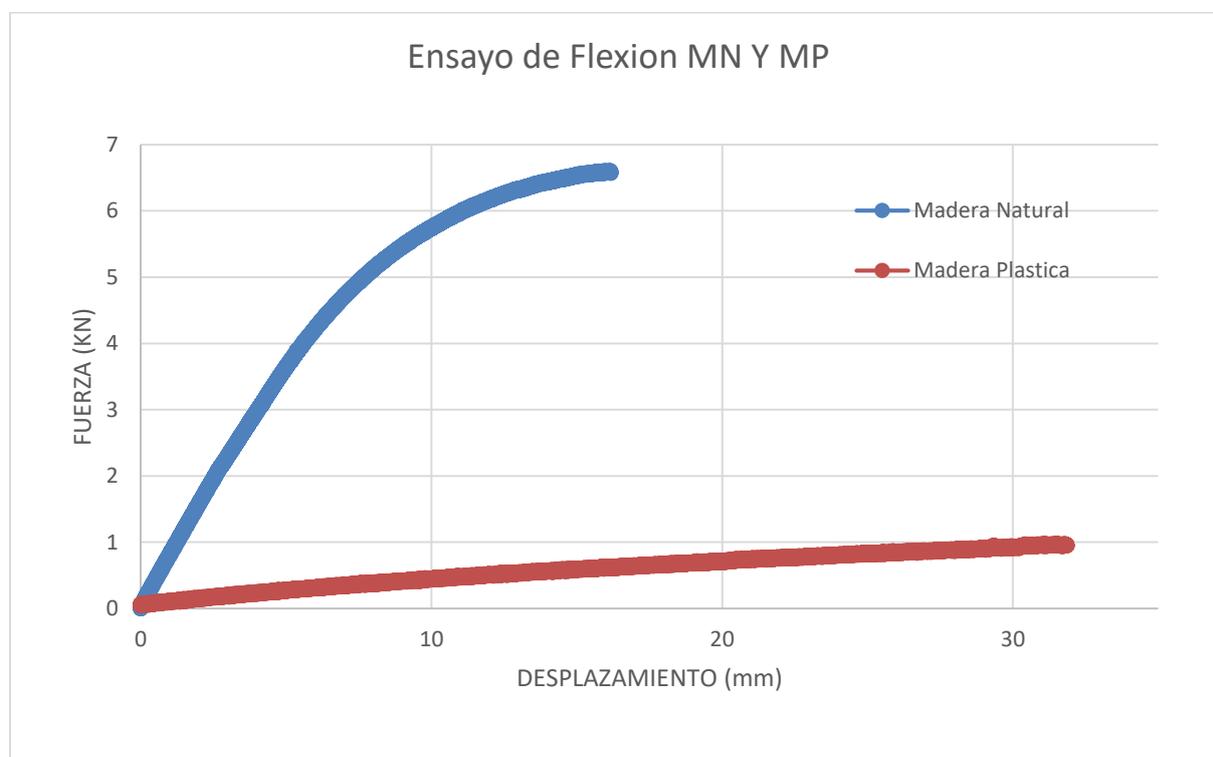
El gráfico de muestra de madera natural indica una pendiente más pronunciada que el gráfico de madera plástica, lo que indica que la madera natural es más rígida. Utilizando esta propiedad, podemos concluir que la madera natural tiene un mayor módulo de elasticidad, lo que significa que se debe aplicar una mayor fuerza a la madera natural para conseguir deformaciones comparables a las obtenidas en madera plástica con fuerzas menores. La madera plástica, por el contrario, tiene menor rigidez. Estas diferencias se pueden atribuir a la estructura celular ordenada de la madera natural, mientras que la madera plástica tiene una estructura más viscoelástica.

De la misma manera, las gráficas de los ensayos de corte demostraron un comportamiento opuesto entre la madera natural y madera plástica el momento de la rotura, ya que la MN se rompe de forma frágil, mientras que la MP lo hace de manera dúctil. Esto se debe a que la

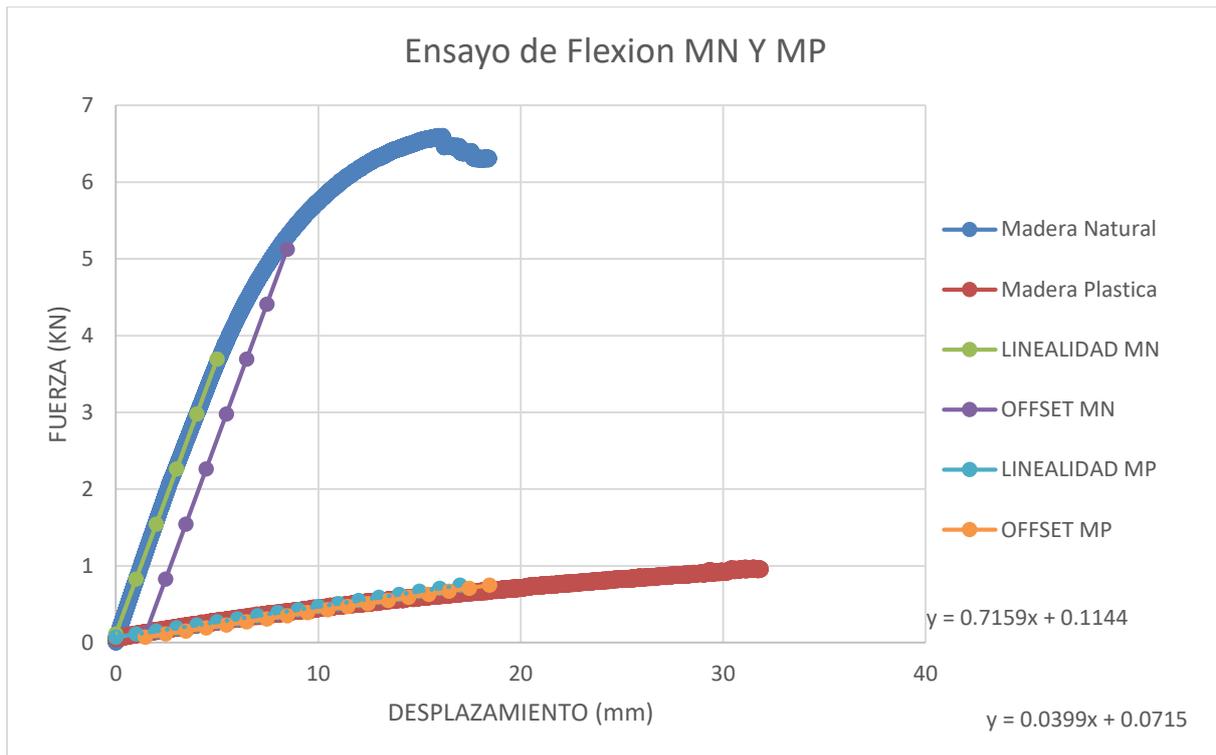
gráfica muestra una caída repentina y abrupta después de alcanzar el punto máximo de resistencia, mientras que la gráfica de madera plástica muestra un pico más redondeado y suave, con una disminución gradual y progresiva de la resistencia.

Es notorio también, que la resistencia al corte de la madera natural es superior en comparación a la madera plástica. Los fuertes enlaces intermoleculares y su comportamiento elasto-plástico ante el daño contribuyen al aumento de la resistencia. En comparación, la madera plástica, aunque potencialmente más duradera en determinadas condiciones ambientales, tiene una menor resistencia al corte debido a la unión más débil entre las partículas de madera plástica.

La tenacidad, medida del área bajo la curva de un ensayo de flexión, revela diferencias significativas entre la madera natural y la plástica. La madera natural, con un valor de 72.52 KN/mm, demuestra una mayor capacidad para absorber energía antes de la fractura, indicando una mayor resistencia a impactos y cargas dinámicas. Por el contrario, la madera plástica, con solo 18.60 KN/mm, presenta una menor tenacidad. Además, a diferencia de la madera natural, la madera plástica no experimenta una ruptura completa, manteniendo su forma debido a su composición plástica. Esta característica sugiere que la madera plástica podría ser más adecuada para aplicaciones donde se requiera una mayor flexibilidad y resistencia a la deformación, pero menor resistencia a cargas de impacto.



Gráfica 18 Ensayo de Flexión Madera Plástica y Madera Natural



Gráfica 19 Ensayo de Flexión Madera Plástica y Madera Natural

El análisis comparativo de los ensayos de flexión entre madera natural húmeda y madera plástica revela una diferencia significativa en sus propiedades mecánicas, específicamente en la ductilidad. Los resultados, consistentes a través de diversas condiciones ambientales (seco, aire libre, agua de sal, etc.), indican que la madera plástica exhibe una ductilidad superior, con un valor de  $\mu = 1.51$ , en contraste con la madera natural que presenta un valor de  $\mu = 1.33$ . Según Kretschmann (2010), esta disparidad puede atribuirse a la estructura más homogénea y la composición polimérica de la madera plástica, que le confiere mayor capacidad de deformación plástica antes de la falla. Ashby y Jones (2012) sugieren que esta mayor ductilidad podría implicar una superior resistencia a la propagación de grietas y una mayor capacidad de absorción de energía.

#### 4.7. Conclusiones

El análisis comparativo entre la madera natural (MN) y la madera plástica (MP) en sus propiedades mecánicas y comportamiento estructural ha demostrado variaciones significativas. La MN exhibe una superior resistencia a la compresión perpendicular a la fibra y una mayor capacidad de carga, demostrando un módulo de elasticidad más elevado y una rigidez superior. En contraste, la MP presenta una resistencia más uniforme en todas las direcciones debido a su composición homogénea, aunque con valores inferiores a la MN. La anisotropía

característica de la MN se contrapone a la isotropía de la MP, lo que influye en su respuesta a diferentes sollicitaciones mecánicas.

La MP muestra una mayor ductilidad y una respuesta viscoelástica más pronunciada, evidenciada por su comportamiento en los ensayos de corte y flexión. Además, exhibe una resistencia superior a la humedad, con una variación mínima en sus propiedades mecánicas bajo diferentes condiciones de humedad, lo que sugiere una ventaja en aplicaciones expuestas a factores ambientales variables. La tenacidad, evaluada mediante el área bajo la curva en ensayos de flexión, revela una capacidad superior de la MN para absorber energía antes de la fractura. La evaluación de la respuesta al fuego y el desgaste de ambos materiales proporciona información valiosa para su selección en aplicaciones específicas, considerando factores como la seguridad contra incendios y la durabilidad a largo plazo.

Este análisis integral de las propiedades mecánicas y comportamiento estructural proporciona una base sólida para la selección de materiales en función de los requerimientos específicos de cada aplicación ingenieril.

## **5. Análisis de Impacto Ambiental y Análisis de Ciclo de Vida**

### **5.1. Introducción**

En el presente capítulo se presentan los análisis de impacto ambiental realizados sobre las maderas ensayadas. Para esto se ha realizado un estudio de los procesos involucrados en el proceso de fabricación, transporte, aplicación de la madera natural y de la madera plástica. Para esto se ha realizado un análisis del impacto ambiental que generan este tipo de materiales a través de matrices de Leopold. Posteriormente se presenta un análisis de ciclo de vida, este busca estudiar los impactos al medio ambiente durante todas las etapas involucradas en el uso de este tipo de madera y finalmente se presenta una evaluación del ciclo de vida que busca reflejar los costos en la aplicación de estos materiales. Finalmente, este capítulo busca concientizar sobre los impactos medioambientales involucrados en el uso de estas alternativas a modo de optar por procesos que permitan metodologías de aplicación sostenibles.

### **5.2. Análisis de Impacto Ambiental**

#### **5.2.1. Matriz de Leopold**

La Matriz de Leopold, también conocida como Matriz de Causa-Efecto, es una herramienta desarrollada por Leopold et al. en 1971. La Matriz de Leopold es una herramienta fundamental en la Evaluación de Impacto Ambiental (EIA), reconocida a nivel internacional por su capacidad para evaluar los posibles impactos ambientales de proyectos, obras o actividades. Su estructura facilita la identificación detallada de estos impactos en diferentes fases del proyecto, permitiendo así la implementación de medidas de mitigación adecuadas. Su objetivo principal es identificar, evaluar y clasificar los posibles impactos ambientales de proyectos específicos. Esta matriz se estructura en una cuadrícula donde las filas representan los componentes ambientales del proyecto, como la calidad del aire, el agua, el suelo, la biodiversidad y el ruido, mientras que las columnas representan las actividades del proyecto, tales como construcción, operación y mantenimiento.

La aplicación de la Matriz de Leopold implica varios pasos clave. Inicialmente, se definen los componentes ambientales susceptibles de ser afectados por el proyecto y se identifican las actividades que podrían generar impactos ambientales significativos. Posteriormente, cada celda de la matriz se evalúa según la magnitud y la importancia del impacto potencial, utilizando criterios establecidos que reflejan tanto el grado de cambio esperado en el componente ambiental como el valor atribuido a este (Ponce, n.d.).

La matriz se compone típicamente de cinco matrices interrelacionadas, cada una enfocada en evaluar aspectos específicos del medio ambiente que podrían ser afectados por el proyecto.

En la fase de Identificación, se detallan los impactos potenciales de cada actividad del proyecto sobre componentes ambientales como aire, agua, suelo, flora, fauna, ruido y paisaje, clasificándolos como positivos o negativos. En la etapa de Evaluación, se emplean los parámetros de Magnitud e Importancia para evaluar cada actividad en relación con variables ambientales específicas. En magnitud se considera la duración (permanente, temporal, momentánea), intensidad (alta, media, baja) e influencia (regional, local, puntual).

En la fase de Importancia se evalúa la ocurrencia (muy probable, probable, poco probable), reversibilidad (irreversible, poco reversible, reversible) y carácter genérico (favorable, poco favorable, desfavorable). En la fase de Valoración, se asigna un valor numérico a cada variable ambiental para cada actividad del proyecto, basándose en la magnitud e importancia del impacto ambiental. Este proceso incluye el cálculo promedio de los resultados de magnitud e importancia, multiplicando ambos para obtener la valoración final de cada actividad.

En la sección de Severidad, se determina el grado de impacto ambiental de cada actividad, utilizando una tabla con rangos numéricos que permiten establecer la gravedad del daño potencial sobre las variables ambientales. Finalmente, en la fase de Agregación (Matriz Final), se visualiza cómo cada actividad afecta a cada variable ambiental y cómo cada variable ambiental es impactada por todas las actividades. Este análisis permite identificar y priorizar acciones para prevenir, mitigar y corregir los impactos negativos sobre el medio ambiente.

Un aspecto fundamental de esta metodología es su capacidad para proporcionar una estructura sistemática y accesible para la evaluación de impactos ambientales. Esto facilita la identificación temprana de los impactos más críticos, permitiendo una planificación efectiva de medidas de mitigación que puedan reducir estos impactos. Sin embargo, es importante tener en cuenta que la Matriz de Leopold es cualitativa y no proporciona una evaluación numérica de los impactos ambientales.

#### - **Matriz de Leopold para madera plástica**

Para plantear la matriz de Leopold de la madera plástica, se debe definir el proceso de producción de esta. Para la madera plástica, el diagrama de procesos incluye transporte de material, corte de material, instalación y limpieza del área de trabajo. Para los procesos es

necesario el uso de combustible y energía eléctrica mientras que de salida se tienen emisiones de gases, aserrín plástico y residuos sólidos (Figura 74).



Figura 74 Diagrama de Procesos de la Madera Plástica

Para desarrollar la matriz de Leopold, se identifican los impactos ambientales (Tabla 19) considerándolos como negativos (rojo) o positivo (azul). Los elementos ambientales considerados abarcan la calidad de aire, percepción de paisaje, vibración, ruido, fauna y flora silvestre y empleo.

<b>Positivo</b>	
<b>Negativo</b>	

Tabla 19 Matriz de Identificación de Impactos Ambientales - Madera Plástica

		IDENTIFICACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES							MATRIZ 1
		ACTIVIDADES							
MEDIO AFECTADO	ELEMENTOS AMBIENTALES	Fase Preparatoria	Transporte de Material	Corte de material	Fase operativa	Instalación	Fase Complementaria	Limpieza del área de trabajo	
		<b>1. Medio Físico: (Parámetros: Duración, Intensidad, Influencia, Ocurrencia, Reversibilidad, Recuperabilidad)</b>							
FISICO	Calidad del aire								
	Percepción del paisaje								
	Vibración								
	Ruido								
<b>2.- Medio Biótico:(Parámetros: Duración, Intensidad, Influencia, Ocurrencia, Reversibilidad, Recuperabilidad)</b>									
BIOTICO	Fauna y flora terrestre								
<b>3.- Medio Socioeconómico: (Parámetros: Duración, Intensidad, Influencia, Ocurrencia, Carcter Genérico)</b>									
SOCIECONOMICO	Empleo								

Para los elementos ambientales mencionados, se realiza su clasificación según la duración, intensidad, influencia, ocurrencia, reversibilidad y recuperabilidad. Se usa la codificación de la Tabla 20 para definir cada elemento y se obtiene la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**

Tabla 20 Codificación de la evaluación de impactos ambientales

MAGNITUD						IMPORTANCIA							
Duración		Intensidad		Influencia		Ocurrencia	Reversibilidad		Recuperabilidad		Carácter Genérico		
Permanente	P	Alta		Regional	R	Muy Probable	Mp	Irreversible	Iv	Irrecuperable	Ic	Favorable	F
Temporal	T	Media		Local	L	Probable	Pr	Poco reversible	Pv	Poco Recuperable	Pc	Poco Favorable	Pf
Momentaneo	m	Baja		Puntual	p	Poco Probable	Pp	Reversible	Rv	Recuperable	Rc	Desfavorable	Df

Tabla 21 Matriz de Evaluación de Impactos Ambientales - Madera Plástica

MEDIO AFECTADO	EVALUACION DE IMPACTOS AMBIENTALES							MATRIZ 2
	ACTIVIDADES							
	ELEMENTOS AMBIENTALES	Fase Preparatoria	Transporte de Material	Corte de material	Fase operativa	Instalación	Fase Complementaria	
1. Medio Físico: (Parámetros: Duración, Intensidad, Influencia, Ocurrencia, Reversibilidad, Recuperabilidad)								
FISICO	Calidad del aire		M-L-Pr-Iv-Rc-Df	M-P-Mp-Iv-Pc-Df				M-L-Mp-Iv-Pc-F
	Percepción del paisaje					P-L-Mp-Iv-Pc-F		M-L-Mp-Iv-Ic-F
	Vibración			M-P-Mp-Iv-Ic-Df		M-P-Pr-Iv-Ic-Pf		
	Ruido			M-P-Mp-Iv-Ic-Df		M-P-Pr-Iv-Ic-Pf		
2.- Medio Biótico:(Parámetros: Duración, Intensidad, Influencia, Ocurrencia, Reversibilidad, Recuperabilidad)								
BIOTICO	Fauna y flora terrestre			M-P-Mp-Iv-Rc-Pf		M-P-Mp-Iv-Rc-Pf		
3.- Medio Socioeconómico: (Parámetros: Duración, Intensidad, Influencia, Ocurrencia, Carcter Genérico)								
SOCIECONOMICO	Empleo		M-P-Mp-Iv-Rc-F	M-P-Mp-Iv-Rc-F		M-P-Mp-Iv-Rc-F		M-P-Mp-Iv-Rc-F

Para cada elemento ambiental, se debe realizar su valoración de magnitud e importancia. Esta ponderación se realiza en una escala del 1 al 3 según la calificación de la Tabla 21. De esta matriz se obtiene un valor de valoración de impacto que se obtiene de la suma y resta de impactos positivos y negativos. Se presenta desde la Tabla 22 hasta la

VALORACIÓN DE LA MAGNITUD E IMPORTANCIA																				MATRIZ 4		
Elemento Ambiental	FAUNA Y FLORA TERRESTRE																			Impacto de valoración		
	Características de impacto	MAGNITUD									IMPORTANCIA											
		Intensidad			Proy. En Tiempo			Influencia			Total	Ocurrencia			Reversibilidad			Recuperabilidad			Total	
	A	M	B	P	T	M	R	L	P	Max.	MPr	Pr	PPr	Irrev	P. Rv	Rev	Irrec	P. Rc.	Rec	Max.		
	3	2	1	3	2	1	3	2	1	3	3	2	1	3	2	1	3	2	1	3		
Corte de material	3					1			1	1,7	3			3						1	2,3	3,9
Instalación		2				1			1	1,3	3			3						1	2,3	3,1
VALORACIÓN										1,5											2,3	3,5

Tabla 27, las matrices de valoración de la magnitud e importancia.

Tabla 22 Matriz de Valoración de magnitud e importancia – Calidad de Aire - Madera Plástica

VALORACIÓN DE LA MAGNITUD E IMPORTANCIA																				MATRIZ 4		
Elemento Ambiental	CALIDAD DEL AIRE																			Impacto de valoración		
	Características de impacto	MAGNITUD									IMPORTANCIA											
		Intensidad			Proy. En Tiempo			Influencia			Total	Ocurrencia			Reversibilidad			Recuperabilidad			Total	
	A	M	B	P	T	M	R	L	P	Max.	MPr	Pr	PPr	Irrev	P. Rv	Rev	Irrec	P. Rc.	Rec	Max.		
	3	2	1	3	2	1	3	2	1	3	3	2	1	3	2	1	3	2	1	3		
Transporte de Material		2				1		2		1,7		2		3						1	2,0	3,3
Corte de material		2				1			1	1,3	3			3				2			2,7	3,6
Limpieza del área de trabajo	3			3				2		2,7	3			3				2			2,7	7,1
VALORACIÓN										1,9											2,4	4,7

Tabla 23 Matriz de Valoración de magnitud e importancia – Percepción de paisaje - Madera Plástica

VALORACIÓN DE LA MAGNITUD E IMPORTANCIA																				MATRIZ 4	
Elemento Ambiental		PERCEPCION DEL PAISAJE																		Impacto de valoración	
Características de impacto	MAGNITUD									IMPORTANCIA											
	Intensidad			Proy. En Tiempo			Influencia			Total	Ocurrencia			Reversibilidad			Recuperabilidad				Total
	A	M	B	P	T	M	R	L	P	Max.	MPr	Pr	PPr	Irrev	P. Rv	Rev	Irrec	P. Rc.	Rec		Max.
	3	2	1	3	2	1	3	2	1	3	3	2	1	3	2	1	3	2	1	3	
Instalación		2		3				2		2,3	3			3				2		2,7	
Limpieza del área de trabajo			1			1		2		1,3	3			3			3			3,0	
<b>VALORACIÓN</b>										1,8										2,8	5,1

Tabla 24 Matriz de Valoración de magnitud e importancia – Vibración - Madera Plástica

VALORACIÓN DE LA MAGNITUD E IMPORTANCIA																				MATRIZ 4	
Elemento Ambiental		VIBRACION																		Impacto de valoración	
Características de impacto	MAGNITUD									IMPORTANCIA											
	Intensidad			Proy. En Tiempo			Influencia			Total	Ocurrencia			Reversibilidad			Recuperabilidad				Total
	A	M	B	P	T	M	R	L	P	Max.	MPr	Pr	PPr	Irrev	P. Rv	Rev	Irrec	P. Rc.	Rec		Max.
	3	2	1	3	2	1	3	2	1	3	3	2	1	3	2	1	3	2	1	3	
Corte de material	3					1			1	1,7	3			3			3			3,0	
Instalación		2				1			1	1,3		2		3			3			2,7	
<b>VALORACIÓN</b>										1,5										2,8	4,3

Tabla 25 Matriz de Valoración de magnitud e importancia – Ruido - Madera Plástica

VALORACIÓN DE LA MAGNITUD E IMPORTANCIA																				MATRIZ 4	
Elemento Ambiental		RUIDO																		Impacto de valoración	
Características de impacto	MAGNITUD									IMPORTANCIA											
	Intensidad			Proy. En Tiempo			Influencia			Total	Ocurrencia			Reversibilidad			Recuperabilidad				Total
	A	M	B	P	T	M	R	L	P	Max.	MPr	Pr	PPr	Irrev	P. Rv	Rev	Irrec	P. Rc.	Rec		Max.
	3	2	1	3	2	1	3	2	1	3	3	2	1	3	2	1	3	2	1	3	
Corte de material	3					1			1	1,7	3			3			3			3,0	
Instalación		2				1			1	1,3		2		3			3			2,7	
<b>VALORACIÓN</b>										1,5										2,8	4,3

Tabla 26 Matriz de Valoración de magnitud e importancia – Fauna y Flora Terrestre - Madera Plástica

VALORACIÓN DE LA MAGNITUD E IMPORTANCIA																				MATRIZ 4	
Elemento Ambiental		FAUNA Y FLORA TERRESTRE																		Impacto de valoración	
Características de impacto	MAGNITUD									IMPORTANCIA											
	Intensidad			Proy. En Tiempo			Influencia			Total	Ocurrencia			Reversibilidad			Recuperabilidad				Total
	A	M	B	P	T	M	R	L	P	Max.	MPr	Pr	PPr	Irrev	P. Rv	Rev	Irrec	P. Rc.	Rec		Max.
	3	2	1	3	2	1	3	2	1	3	3	2	1	3	2	1	3	2	1	3	
Corte de material	3					1			1	1,7	3			3					1	2,3	
Instalación		2				1			1	1,3	3			3					1	2,3	
<b>VALORACIÓN</b>										1,5										2,3	3,5

Tabla 27 Matriz de Valoración de magnitud e importancia – Empleo - Madera Plástica

VALORACIÓN DE LA MAGNITUD E IMPORTANCIA																				MATRIZ 4		
Elemento Ambiental	EMPLEO																			Impacto de valoración		
	Características de impacto	MAGNITUD									IMPORTANCIA										Max.	
		Intensidad			Proy. En Tiempo			Influencia			Ocurrenca			Reversibilidad			Recuperabilidad					
		A	M	B	P	T	M	R	L	P	Max.	MPr	Pr	PPr	Irrev	P. Rv	Rev	Irrec	P. Rc.			Rec
	3	2	1	3	2	1	3	2	1	3	3	2	1	3	2	1	3	2	1	3		
Transporte de Material		2				1			1	1,3	3			3						1	2,3	3,1
Corte de material		2				1			1	1,3	3			3						1	2,3	3,1
Instalación		2				1			1	1,3	3			3						1	2,3	3,1
Limpieza del área de trabajo		2				1			1	1,3	3			3						1	2,3	3,1
VALORACIÓN										1,3											2,3	3,1

Se realiza el análisis de severidad para los elementos ambientales. Según la fase en la que el medio físico genere impacto se califica como positivo y negativo y finalmente por el cálculo de los negativos y positivos se obtiene el carácter de estos. Para la madera plástica el impacto es severo en la vibración, ruido y fauna y flora terrestre (Tabla 28).

Tabla 28 Matriz de Análisis de severidad de impactos ambientales – Actividades - Madera Plástica

ANÁLISIS DE SEVERIDAD DE IMPACTOS AMBIENTALES											MATRIZ 3				
MEDIO AFECTADO	ELEMENTOS AMBIENTALES	ACTIVIDADES									VALORACIÓN TOTAL	VALORACIÓN DE LOS IMPACTOS	CARÁCTER DE LOS IMPACTOS		
		FASE DE CONSTRUCCIÓN	Transporte de Material	Corte de material	FASE OPERATIVA	Instalación	FASE COMPLEMENTARIA	Limpieza del área de trabajo							
		1. MEDIO FÍSICO									(-)	(+)		POSITIVO	NEGATIVO
FÍSICO	Calidad del aire	(+)	(-)	-11	-12				15	16	-23,00	16,00	-7	BAJO	COMPATIBLE
	Percepción del paisaje	(+)	(-)						13	13	0,00	28,00	28	ALTO	COMPATIBLE
	Vibración	(+)	(-)								-26,00	0,00	-26	BAJO	SEVERO
	Ruido	(+)	(-)								-26,00	0,00	-26	BAJO	SEVERO
		2. MEDIO BIÓTICO													
BIÓTICO	Fauna y flora terrestre	(+)	(-)								-23,00	0,00	-23	BAJO	SEVERO
		3. MEDIO SOCIO-ECONÓMICO													
SOCIOECONÓMICO	Empleo	(+)	(-)	11	11				11	11	0,00	44,00	44	ALTO	COMPATIBLE

Tabla 29 Matriz de Análisis de Agregación de Impactos Ambientales – Actividades - Madera Plástica

AGREGACION DE IMPACTOS AMBIENTALES											MATRIZ 5								
MEDIO AFECTADO	ELEMENTOS AMBIENTALES	ACTIVIDADES									SIGNOS	INTERACCIONES NEGATIVAS	INTERACCIONES POSITIVAS	AFECTACIONES NEGATIVAS	AFECTACIONES POSITIVAS	AGREGACION DE IMPACTOS	CARÁCTER DE LOS IMPACTOS		
		FASE DE inicio	Transporte de Material	Corte de material	FASE OPERATIVA	Instalación	FASE COMPLEMENTARIA	Limpieza del área de trabajo											
		1. MEDIO FÍSICO													(-)	(+)		POSITIVO	NEGATIVO
FÍSICO	Calidad del aire	(+)	(-)	-3,33	-3,56				6,222	7,111		2	1	-6,89	7,11	0,22	BAJO	COMPATIBLE	
	Percepción del paisaje	(+)	(-)						4,00	4,00	(+)	0	2	0,00	10,22	10,22	MEDIANO	COMPATIBLE	
	Vibración	(+)	(-)									2	0	-8,56	0,00	-8,56	BAJO	COMPATIBLE	
	Ruido	(+)	(-)									2	0	-8,56	0,00	-8,56	BAJO	COMPATIBLE	
		2. MEDIO BIÓTICO																	
BIÓTICO	Fauna y flora terrestre	(+)	(-)								(+)	2	0	-7,00	0,00	-7,00	BAJO	COMPATIBLE	
		3. MEDIO SOCIO-ECONÓMICO																	
SOCIOECONÓMICO	Empleo	(+)	(-)	3,11	3,11				3,11	3,11	(+)	0	4	0,00	12,44	12,44	ALTO	COMPATIBLE	
		(+)	(-)	(+)	(-)				(+)	(-)	TOTAL:	8	7	-31,0	29,78	-1,22			

Tabla 30 Resultado de la Matriz de Leopold para la Madera Plástica.

	FASE DE INICIO		FASE OPERATIVA	Instalación	FASE COMPLEMENTARIA	Limpieza del área de trabajo	TOTAL:	AFECCIONES NEGATIVAS	AFECCIONES POSITIVAS	AGREGACION DE IMPACTOS
	Transporte de Material	Corte de material								
<b>AFECCIONES NEGATIVAS</b>	-3,3	-17,4		-10,2		0,0	-31,0			
<b>AFECCIONES POSITIVAS</b>	3,1	3,1		9,3		14,2			29,8	
<b>AGREGACION DE IMPACTOS</b>	-0,2	-14,3		-0,9		14,2				-1,22

Al ser un material fabricado a partir de residuos plásticos, se reducen las actividades que generan un impacto negativo, como el lijado y el lacado. Estas actividades afectan al medio ambiente debido a los fuertes olores y a las partículas contaminantes que liberan. Dado que el material se fabrica mediante un molde y un sistema de producción estandarizado, no se desperdicia material en mal estado.

En la Tabla 29 se identificaron un total de 16 interacciones: 8 negativas y 7 positivas. Esto indica que el principal problema ambiental es la calidad del aire, con un valor negativo de 2 y uno positivo de 1, debido a los gases emitidos por los combustibles durante el transporte del material y las micropartículas generadas durante el corte e instalación. Sin embargo, la limpieza del área de trabajo contribuye a mejorar la calidad del aire, ya que no deja residuos del material.

En cuanto a la vibración y el ruido, se asignó un valor negativo de 2 debido a las actividades de corte e instalación del material. En el medio biótico, se observó un impacto negativo de 2 en la fauna y flora debido a las herramientas utilizadas en el corte e instalación, como taladros, martillos y amoladoras. El ruido y la vibración pueden afectar a los animales en el ecosistema donde se realizará el proyecto. No obstante, en el ámbito socioeconómico, las interacciones son positivas debido a la mano de obra necesaria en el transporte, corte, instalación y limpieza del área de trabajo, lo que genera un valor positivo de 4 y un impacto significativo en la creación de empleo.

Finalmente, en la Tabla 30 se obtuvo un valor de afectación de -1.22 tanto en el análisis horizontal (por elemento ambiental para cada actividad del proyecto) como en el análisis vertical (por cada actividad para todos los elementos ambientales afectados).

**- Matriz de Leopold para madera natural**

Para poder comprender el daño que causa cada actividad al medio, es necesario realizar un diagrama de procesos para la madera natural. Para su producción, se considera la selección de material, transporte de material, lijado y lacado, corte de material, instalación y limpieza del área de trabajo (Figura 75).



Figura 75 Diagrama de Procesos de la Madera Natural

Siguiendo el proceso utilizado para la madera plástica, para la madera natural se realiza la matriz de identificación (Tabla 31), evaluación (Tabla 32) y valoraciones para cada elemento ambiental (Tabla 33 hasta la Tabla 39)

Tabla 31 Matriz de Identificación de Impactos Ambientales - Madera Natural

		IDENTIFICACION DE IMPACTOS AMBIENTALES									MATRIZ 1
		ACTIVIDADES									
MEDIO AFECTADO	ELEMENTOS AMBIENTALES	Fase Preparatoria	Transporte de Material	Selección del material	Lijado y Lacado	Corte de material	Fase operativa	Instalación	Fase Complementaria	Limpieza del área de trabajo	
<b>1. Medio Físico: (Parámetros: Duración, Intensidad, Influencia, Ocurrencia, Reversibilidad, Recuperabilidad)</b>											
FISICO	Calidad del aire										
	Percepción del paisaje										
	Olores										
	Vibración										
	Ruido										
<b>2.- Medio Biótico:(Parámetros: Duración, Intensidad, Influencia, Ocurrencia, Reversibilidad, Recuperabilidad)</b>											
BIOTICO	Fauna y flora terrestre										
<b>3.- Medio Socioeconómico : (Parámetros: Duración, Intensidad, Influencia, Ocurrencia, Carcter Genérico)</b>											
SOCIECONOMICO	Empleo										

Tabla 32 Matriz de Evaluación de Impactos Ambientales - Madera Natural

MEDIO AFECTADO	EVALUACION DE IMPACTOS AMBIENTALES									MATRIZ 2
	ELEMENTOS AMBIENTALES	Fase Preparatoria	Transporte de Material	Selección del material	Lijado y Lacado	Corte de material	Fase operativa	Instalación	Fase Complementaria	
1. Medio Físico: (Parámetros: Duración, Intensidad, Influencia, Ocurrencia, Reversibilidad, Recuperabilidad)										
FISICO	Calidad del aire		M-L-Pr-Iv-Rc-Df		M-P-Mp-Iv-Pc-Df	M-P-Mp-Iv-Pc-Df				M-L-Mp-Iv-Pc-Pf
	Percepción del paisaje			M-P-Mp-Pv-Pc-Df	P-P-Pr-Iv-Pc-Pf			P-L-Mp-Iv-Pc-F		M-L-Mp-Iv-Ic-F
	Olores		M-P-Pr-Iv-Rc-Df		M-P-Mp-Iv-Ic-Df					
	Vibración				M-P-Pr-Iv-Ic-Df	M-P-Mp-Iv-Ic-Df		M-P-Pr-Iv-Ic-Pf		
	Ruido				M-P-Mp-Iv-Rc-Df	M-P-Mp-Iv-Ic-Df		M-P-Pr-Iv-Ic-Pf		
2. Medio Biótico: (Parámetros: Duración, Intensidad, Influencia, Ocurrencia, Reversibilidad, Recuperabilidad)										
BIOTICO	Fauna y flora terrestre				M-P-Pr-Iv-Rc-Pf	M-P-Mp-Iv-Rc-Pf		M-P-Mp-Iv-Rc-Pf		
3. Medio Socioeconómico: (Parámetros: Duración, Intensidad, Influencia, Ocurrencia, Carcter Genérico)										
SOCIOECONOMICO	Empleo		M-P-Mp-Iv-Rc-F			M-P-Mp-Iv-Rc-F		M-P-Mp-Iv-Rc-F		M-P-Mp-Iv-Rc-F

Tabla 33 Matriz de Valoración de magnitud e importancia – Calidad de Aire - Madera Natural

VALORACIÓN DE LA MAGNITUD E IMPORTANCIA		MATRIZ 3																				
Elemento Ambiental	Características de impacto	CALIDAD DEL AIRE																		Impacto de valoración		
Intensidad		MAGNITUD									IMPORTANCIA											
		Proy. En Tiempo			Influencia			Total	Ocurrencia			Reversibilidad			Recuperabilidad			Total				
		A	M	B	P	T	M	R	L	P	Max.	MPr	Pr	PPr	Irrev	P. Rv	Rev	Irrec	P. Rc.		Rec	Max.
Transporte de Material	3	2	1	3	2	1	3	2	1	3	1,7	3	2	1	3					1	2,0	3,3
Lijado y Lacado	3					1			1	1,7	3			3					2		2,7	4,4
Corte de material		2				1			1	1,3	3			3					2		2,7	3,6
Limpieza del área de trabajo	3					1			2	2,0	3			3					2		2,7	5,3
VALORACIÓN										1,7											2,5	4,2

Tabla 34 Matriz de Valoración de magnitud e importancia – Percepción del Paisaje - Madera Natural

VALORACIÓN DE LA MAGNITUD E IMPORTANCIA		MATRIZ 3																				
Elemento Ambiental	Características de impacto	PERCEPCION DEL PAISAJE																		Impacto de valoración		
Intensidad		MAGNITUD									IMPORTANCIA											
		Proy. En Tiempo			Influencia			Total	Ocurrencia			Reversibilidad			Recuperabilidad			Total				
		A	M	B	P	T	M	R	L	P	Max.	MPr	Pr	PPr	Irrev	P. Rv	Rev	Irrec	P. Rc.		Rec	Max.
Selección del material	3	2	1	3	2	1	3	2	1	3	3	2	1	3	2	1	3	2	1	3	2,3	2,3
Lijado y Lacado	3			3					1	2,3		2		3					2		1,8	4,1
Instalación		2		3				2		2,3	3			3					2		2,7	6,2
Limpieza del área de trabajo			1			1		2		1,3	3			3			3				3,0	4,0
VALORACIÓN										1,8											2,4	4,2

Tabla 35 Matriz de Valoración de magnitud e importancia – Olores - Madera Natural

VALORACIÓN DE LA MAGNITUD E IMPORTANCIA																			MATRIZ 3		
Ambiental																					
Características de impacto																					
Elemento Ambiental	MAGNITUD										IMPORTANCIA								Impacto de valoración		
	Intensidad			Proy. En Tiempo			Influencia				Total	Ocurrencia			Reversibilidad			Recuperabilidad		Total	
	A	M	B	P	T	M	R	L	P	Max.	MPr	Pr	PPr	Irrev	P. Rv	Rev	Irrec	P. Rc.		Rec	Max.
	3	2	1	3	2	1	3	2	1	3	3	2	1	3	2	1	3	2	1	3	3
Transporte de Material			1			1			1	1,0		2		3					1	2,0	2,0
Lijado y Lacado	3					1		1		1,7	3			3			3		3,0	5,0	
<b>VALORACIÓN</b>										1,3									2,5	3,5	

Tabla 36 Matriz de Valoración de magnitud e importancia – Vibración - Madera Natural

VALORACIÓN DE LA MAGNITUD E IMPORTANCIA																			MATRIZ 3		
Elemento Ambiental																					
Características de impacto																					
Elemento Ambiental	MAGNITUD										IMPORTANCIA								Impacto de valoración		
	Intensidad			Proy. En Tiempo			Influencia				Total	Ocurrencia			Reversibilidad			Recuperabilidad		Total	
	A	M	B	P	T	M	R	L	P	Max.	MPr	Pr	PPr	Irrev	P. Rv	Rev	Irrec	P. Rc.		Rec	Max.
	3	2	1	3	2	1	3	2	1	3	3	2	1	3	2	1	3	2	1	3	3
Lijado y Lacado		2				1			1	1,3		2		3			3			2,0	2,7
Corte de material	3					1			1	1,7	3			3			3			3,0	5,0
Instalacion		2				1			1	1,3		2		3			3			2,7	3,6
<b>VALORACIÓN</b>										1,4									2,6	3,7	

Tabla 37 Matriz de Valoración de magnitud e importancia – Ruido - Madera Natural

VALORACIÓN DE LA MAGNITUD E IMPORTANCIA																			MATRIZ 3		
Elemento Ambiental																					
Características de impacto																					
Elemento Ambiental	MAGNITUD										IMPORTANCIA								Impacto de valoración		
	Intensidad			Proy. En Tiempo			Influencia				Total	Ocurrencia			Reversibilidad			Recuperabilidad		Total	
	A	M	B	P	T	M	R	L	P	Max.	MPr	Pr	PPr	Irrev	P. Rv	Rev	Irrec	P. Rc.		Rec	Max.
	3	2	1	3	2	1	3	2	1	3	3	2	1	3	2	1	3	2	1	3	3
Lijado y Lacado	3					1			1	1,7	3			3			3			2,3	3,8
Corte de material	3					1			1	1,7	3			3			3			3,0	5,0
Instalacion		2				1			1	1,3		2		3			3			2,7	3,6
<b>VALORACIÓN</b>										1,6									2,6	4,1	

Tabla 38 Matriz de Valoración de magnitud e importancia – Fauna y Flora Silvestre - Madera Natural

VALORACIÓN DE LA MAGNITUD E IMPORTANCIA																			MATRIZ 3		
Elemento Ambiental																					
Características de impacto																					
Elemento Ambiental	MAGNITUD										IMPORTANCIA								Impacto de valoración		
	Intensidad			Proy. En Tiempo			Influencia				Total	Ocurrencia			Reversibilidad			Recuperabilidad		Total	
	A	M	B	P	T	M	R	L	P	Max.	MPr	Pr	PPr	Irrev	P. Rv	Rev	Irrec	P. Rc.		Rec	Max.
	3	2	1	3	2	1	3	2	1	3	3	2	1	3	2	1	3	2	1	3	3
Lijado y Lacado	3					1			1	1,7		2		3					1	2,0	3,3
Corte de material	3					1			1	1,7	3			3					1	2,3	3,9
Instalacion		2				1			1	1,3	3			3					1	2,3	3,1
<b>VALORACIÓN</b>										1,6									2,2	3,4	

Tabla 39 Matriz de Valoración de magnitud e importancia – Empleo - Madera Natural

VALORACIÓN DE LA MAGNITUD E IMPORTANCIA																			MATRIZ 3			
Elemento Ambiental	EMPLEO																		Impacto de valoración			
	Características de impacto	MAGNITUD									IMPORTANCIA											
		Intensidad			Proy. En Tiempo			Influencia			Total	Ocurrencia			Reversibilidad			Recuperabilidad			Total	
		A	M	B	P	T	M	R	L	P	Max.	MPr	Pr	PPr	Irrev	P. Rv	Rev	Irrec		P. Rc	Rec	Max.
	3	2	1	3	2	1	3	2	1	3	3	2	1	3	2	1	3	2	1	3	3	
Transporte de Material		2				1				1	1,3	3			3					1	2,3	3,1
Corte de material		2				1				1	1,3	3			3					1	2,3	3,1
Instalacion		2				1				1	1,3	3			3					1	2,3	3,1
Limpieza del área de trabajo		2				1				1	1,3	3			3					1	2,3	3,1
VALORACIÓN											1,3										2,3	3,1

Para el análisis de severidad, mediante la *Tabla 40*, se tiene que los impactos en calidad de aire, olores, vibración, ruido y fauna y flora terrestre son severos. Según la matriz de análisis de agregación de impactos ambientales (*Tabla 41*), el impacto en la calidad de aire es severo y para la vibración y ruido es moderado. Por otro lado, los impactos positivos son bajos en todos los elementos ambientales con excepción del empleo que generaría esta aplicación.

Tabla 40 Matriz de Análisis de severidad de impactos ambientales – Actividades - Madera Natural

ANÁLISIS DE SEVERIDAD DE IMPACTOS AMBIENTALES													MATRIZ 4			
MEDIO AFECTADO	ELEMENTOS AMBIENTALES	FASE DE CONSTRUCCIÓN	Transporte de Material	Selección del material	Lijado y Lacado	Corte de material	FASE OPERATIVA	Instalacion	FASE COMPLEMENTARIA	Limpieza del área de trabajo	VALORACION TOTAL		VALORACION DE LOS IMPACTOS	CARÁCTER DE LOS IMPACTOS		
											(-) (+)	(-) (+)		+ -	+ -	
FISICO	Calidad del aire	(+)											-50	BAJO	SEVERO	
	Percepción del paisaje	(+)											4	BAJO	COMPATIBLE	
	Olores	(+)											-23	BAJO	SEVERO	
	Vibración	(+)											-38	BAJO	SEVERO	
	Ruido	(+)											-40	BAJO	SEVERO	
BIOTICO	Fauna y flora terrestre	(+)											-34	BAJO	SEVERO	
		(-)														
SOCIECONOMICO	Empleo	(+)	11				11		11		11	0,00	44,00	44	ALTO	COMPATIBLE
		(-)														

Tabla 41 Matriz de Análisis de Agregación de Impactos Ambientales – Actividades - Madera Natural

AGREGACION DE IMPACTOS AMBIENTALES													MATRIZ 5					
MEDIO AFECTADO	ELEMENTOS AMBIENTALES	FASE DE Inicio	Transporte de Material	Selección del material	Lijado y Lacado	Corte de material	FASE OPERATIVA	Instalacion	FASE COMPLEMENTARIA	Limpieza del área de trabajo	SIGNOS	AGREGACION DE IMPACTOS				CARÁCTER DE LOS IMPACTOS		
												INTERACCIONES NEGATIVAS	INTERACCIONES POSITIVAS	AFECTACIONES NEGATIVAS	AFECTACIONES POSITIVAS	POSITIVO	NEGATIVO	
FISICO	Calidad del aire	(+)										4	0	-16,67	0,00	-16,67	BAJO	SEVERO
	Percepción del paisaje	(+)										2	2	-6,42	10,22	3,81	BAJO	COMPATIBLE
	Olores	(+)										2	0	-7,00	0,00	-7,00	BAJO	COMPATIBLE
	Vibración	(+)										3	0	-11,22	0,00	-11,22	BAJO	MODERADO
	Ruido	(+)										3	0	-12,31	0,00	-12,31	BAJO	MODERADO
BIOTICO	Fauna y flora terrestre	(+)										3	0	-10,33	0,00	-10,33	BAJO	MODERADO
		(-)																
SOCIECONOMICO	Empleo	(+)	3,11				3,11		3,11		(+)	0	4	0,00	12,44	12,44	ALTO	COMPATIBLE
		(-)																
TOTAL:												17	6	-63,9	22,667	-41,28		

Tabla 42 Resultado de la Matriz de Leopold para la Madera Natural

	FASE DE INICIO					FASE OPERATIVA		FASE COMPLEMENTARIA		AFECCIONES NEGATIVAS	AFECCIONES POSITIVAS	AGREGACION DE IMPACTOS
	Transporte de Material	Selección del material	Lijado y Lacado	Corte de material		Instalación		Limpieza del área de trabajo				
<b>AFECCIONES NEGATIVAS</b>	-5,3	-2,33	-20,6	-17,4		-10,2		-5,3	<b>TOTAL:</b>	-61,3		
<b>AFECCIONES POSITIVAS</b>	3,1	0,0	0,0	3,1		9,3	7,1			22,7		
<b>AGREGACION DE IMPACTOS</b>	-2,2	-2,3	-20,6	-14,3		-0,9	1,8				-38,6	

La madera natural, a pesar de sus aparentes beneficios, ha sido objeto de severas críticas, principalmente por su relación con la tala desmedida de árboles y su consecuente impacto ambiental negativo. Al ser un material natural, necesita un tratamiento especial para poder ser utilizado en cualquier proyecto.

Se identificaron 23 interacciones (Tabla 41): 17 negativas y 6 positivas. Esto indica que el principal medio afectado es la calidad del aire, con 4 interacciones negativas. Además de la emisión de gases producida por el transporte del material, se suman los efectos del lijado y lacado, donde se utilizan aerosoles y barnices para mantener la madera en buen estado. Factores ambientales como el sol, la lluvia y los insectos reducen significativamente la vida útil de la madera, y los tratamientos necesarios para su mantenimiento generan residuos sólidos, gases, aserrín y polvo.

En cuanto a la percepción del paisaje, se registraron 2 interacciones positivas y 2 negativas, siendo las positivas más valoradas, con un impacto de 10.22. Los olores, la vibración y el ruido también tienen un impacto negativo significativo en el medio ambiente, con 2 interacciones negativas para olores y 3 para vibración y ruido. Estos factores afectan a la flora y fauna del ecosistema donde se llevará a cabo el proyecto, con un valor negativo de 3.

En el ámbito socioeconómico, la madera natural genera un impacto positivo con 4 interacciones. Sin embargo, en el resultado de la matriz de Leopold para la madera natural (Tabla 42), el valor de afectación general es de -27.2 según los análisis horizontales (por cada

elemento ambiental para cada actividad del proyecto) y -41.28 según los análisis verticales (por cada actividad para todos los elementos ambientales afectados).

### 5.3. Análisis de Ciclo de Vida

En este capítulo se compara física y económicamente la madera plástica y la madera natural en aplicaciones estructurales, determinando cuál es más rentable y sostenible a lo largo de su ciclo de vida. El resultado obtenido del estudio se basa en la metodología de Análisis de Ciclo de Vida (ACV) realizado por Vanegas-Padilla et al. (2021a), utilizando el software SIMAPRO 8.4.0. A continuación se presenta una definición de esta metodología y resultados presentados.

El análisis incluye todas las fases desde la extracción de la materia prima hasta la disposición final de los materiales (de la cuna a la tumba, o parcial). Recopila datos de entrada y salida para cada etapa del ciclo de vida; Incluye materias primas, energía agua, emisiones, residuos, etc (Vanegas-Padilla et al., 2021a).

Estudios realizados por el USDA Forest Service y Franklin Associates, exponen que la madera plástica genera ahorros significativos a largo plazo, principalmente debido a su mayor durabilidad y resistencia a factores como pudrición, humedad y plagas (Knabb et al., 2016).

El análisis de ciclo de vida realizado por Vanegas-Padilla et al. (2021a), comparo el impacto ambiental de dos estivas en el software SIMAPRO 8.4.0 en el cual se analiza tres categorías principalmente (Salud Humana, Ecosistemas y Recursos).

El análisis de ciclo de vida evidencia que la madera plástica resulta como una alternativa superior a la madera natural, ofreciendo beneficios económicos, ambientales y de rendimiento, que la convierten en una alternativa para el uso en diferentes aplicaciones.

#### - Análisis de Inventario

En este análisis, se comparan las cuatro etapas principales del ciclo de vida: Extracción de materia prima, transporte y procesamiento, uso y mantenimiento, y fin de vida.

La madera natural destaca por su origen renovable, sin embargo, su ciclo de vida presenta limitaciones.

- I. Extracción de Materia Prima: La fase de mayor duración (mínimo 8 años para el crecimiento de la madera natural).
- II. Transporte y Procesamiento: El Impacto ambiental es significativo debido al uso de combustibles fósiles.

- III. Uso y Mantenimiento: La madera natural requiere mantenimiento periódico, con una duración aproximada de 2 años.
- IV. Fin de Vida: Eliminación relativamente rápida y sencilla.

En discrepancia, la madera plástica ofrece un ciclo de vida más eficiente:

- I. Producción: La fabricación es un proceso rápido donde se utiliza polietileno de alta densidad.
- II. Transporte y Procesamiento: El impacto ambiental es menor en comparación con la madera natural.
- III. Uso y Mantenimiento: Debido a su alta durabilidad y resistencia, el mantenimiento es casi nulo.
- IV. Fin de Vida: Vida útil extremadamente larga (hasta 989 años).

- **Evaluación del Impacto**

Para la evaluación del Impacto Ambiental se utilizó la Matriz de Leopold la cual se detalla en la Sección 5.2.1 en la cual se especifica más a profundidad las entradas y salidas para cada tipo de material. Con la cual se resume en la siguiente tabla los principales puntos de evaluación de impactos.

*Tabla 43 Matriz comparativa de Madera Natural y Madera Plástica*

Madera Natural	Madera Plástica
<p><b>Impacto Ambiental:</b></p> <p>Alto debido al uso de recursos naturales y gasolina, emisiones de CO2 y otros contaminantes durante el transporte.</p>	<p><b>Impacto Ambiental:</b></p> <p>En comparación general de impactos ambientales las estibas de Madera Plástica llegan apenas a un máximo de 47% de afectación en estas categorías, debido a la menor necesidad de transporte y extracción de materia prima.</p>
<p><b>Ecosistemas y Socioeconómico:</b></p> <p>En comparación general de impactos ambientales la Madera Natural ocupa el 100% de las afectaciones por emisiones y residuos generados en el ciclo de vida.</p>	<p><b>Durabilidad:</b></p> <p>Amplía, lo que reduce la necesidad de reemplazo y mantenimiento, resultando en menores residuos a largo plazo.</p>
<p><b>Degradación:</b></p>	<p><b>Reciclabilidad:</b></p>

## Madera Natural

Relativamente rápida, lo que implica una mayor frecuencia de reemplazo y más residuos a largo plazo

## Madera Plástica

Potencial para ser reciclada, aunque esto depende de las infraestructuras disponibles y las políticas de gestión de residuos

Debido al poco estudio existente sobre el uso de la madera plástica como material alternativo en la construcción, los factores de tiempo y costo no son considerados debido a la alta complejidad y falta de información.

Según la norma técnica ISO-1133, la extracción de materia prima y el uso y mantenimiento, ocupan la mayoría del tiempo en el ciclo de vida de la madera. Teniendo como un mínimo tiempo de espera para su primera poda de cuatro a ocho años. En contraste la madera plástica, utiliza un tiempo de una semana aproximadamente, como ensamblaje, transporte y adquisición de materia prima (reciclaje) (Vanegas-Padilla et al., 2021a).



Figura 76 Tiempo empleado en ciclo de vida de estiba de madera plástica

El análisis presentado, revela una diferencia importante en su durabilidad y longevidad. La madera natural cuya producción se simula desde el año 2018, tiene una vida útil proyectada hasta el año 2029, abarcando aproximadamente 11 años. Al contrario, la madera plástica también iniciando en el año 2018, se estima que durará hasta el año 3018, lo que presenta una vida útil de 1000 años.

La norma ASTM D 790-02 defiende estas proyecciones, comprendiendo y cuantificando la durabilidad superior de los materiales plásticos en comparación con los naturales, mostrando la importancia de considerar la duración como el impacto ambiental en la selección de materiales.

#### - **Análisis del Costo del Ciclo de Vida**

El estudio económico comparativo entre los dos materiales revela diferencias importantes en los costos de producción.

- Madera Natural: El costo es de (\$73113.68 USD)
- Madera Plástica: El costo es mucho menor (\$6713.41 USD)

Presentando una diferencia de más del 90% en favor de la opción plástica. Considerando que el mayor porcentaje del costo total se debe a la extracción de materia prima, este proceso implica el uso de recursos ambientales y mano de obra a gran escala. Mientras que la producción de madera plástica requiere un espacio significativamente menor.

Además de los costos iniciales, es transcendental considerar los costos a largo plazo. La mayor durabilidad de la madera plástica significa menor mantenimiento debido a su resistencia a la degradación y gastos a lo largo del tiempo.

#### **5.4. Resultados y Conclusiones**

Al analizar la matriz de Leopold para cada material, madera plástica y madera natural, se observa que al reducir ciertos procesos se puede disminuir significativamente el impacto ambiental. Es importante mencionar que se pueden modificar procesos, como realizar el corte de la madera natural dentro de un taller, evitando así la dispersión de partículas de polvo y residuos sólidos como el aserrín en el medio ambiente, y calificando la calidad del aire como puntual y recuperable.

El impacto ambiental generado al utilizar madera plástica es irrelevante, con un valor de -1.22. Para reducir aún más el daño en la calidad del aire, se podría solicitar a la fábrica que produzca el material con las medidas exactas necesarias, eliminando así la necesidad de corte y aumentando los impactos positivos en su uso.

El impacto ambiental generado por la madera natural es -41.28, calificado como severo. Para mitigar este impacto, se podría implementar una alternativa de recuperación de la calidad del aire, como la siembra de árboles para compensar la cantidad de árboles utilizados en el proyecto. Existen programas de reforestación y planes preventivos contra la tala excesiva de árboles que equilibran, aunque no eliminan, la contaminación provocada por el uso de madera natural.

El análisis de la matriz de Leopold para la madera plástica y la madera natural revela diferencias significativas en su impacto ambiental. La madera plástica presenta un menor impacto (-1.22), mientras que la madera natural genera un impacto severo (-41.28).

Aunque la optimización de procesos puede reducir el impacto de ambos materiales, se deben considerar medidas específicas para cada uno. En el caso de la madera natural, es esencial implementar el corte del material dentro de talleres controlados para minimizar la contaminación por polvo y aserrín. Además, se deben considerar programas de reforestación y planes de tala responsable para compensar el uso de árboles. En el caso de la madera plástica, se debería solicitar a los fabricantes que implementen medidas de producción que eliminen la necesidad del corte del material, reduciendo así aún más su impacto ambiental.

La madera plástica, debido a su menor impacto ambiental inherente y la posibilidad de optimizar aún más su producción, se presenta como una opción más sostenible en comparación con la madera natural. Sin embargo, es crucial implementar medidas de mitigación para ambos materiales para minimizar su huella ambiental y promover prácticas más responsables.

La evaluación completa del ciclo de vida de ambos materiales, incluyendo su disposición final, proporcionaría una imagen más precisa de su impacto ambiental total. La selección del material más adecuado dependerá de factores específicos del proyecto, como la aplicación prevista, el presupuesto y las preferencias estéticas. Además, la búsqueda de alternativas sostenibles y la implementación de prácticas de construcción ecológicas son esenciales para reducir el impacto ambiental general de la industria de la construcción.

En resumen, la madera plástica y la madera natural presentan diferentes perfiles de impacto ambiental. Si bien la madera plástica ofrece una menor huella ambiental inicial, la optimización de procesos y la implementación de medidas de mitigación son cruciales para ambos materiales. La selección del material más adecuado debe basarse en una evaluación cuidadosa de las necesidades del proyecto y los principios de sostenibilidad.

El análisis de costo de ciclo de vida muestra que la madera plástica es una alternativa superior a la madera natural en términos de rentabilidad y sostenibilidad. Para la Madera Natural casi el 100% de los impactos están relacionados con el CO<sub>2</sub> liberado que causa problemas severos y rápidos a la vida humana, sin embargo, para la Madera Plástica el impacto ambiental está afectado por un 95% por el manejo de Polietileno de alta densidad (PAD) y un 5% por el transporte impulsado por gasolina. La durabilidad alta y los menores costos de producción de la madera plástica compensan su menor resistencia mecánica, haciendo de esta una opción viable y más ecológica para aplicaciones estructurales en la construcción.

## 6. Caso de aplicación y Análisis de Precios Unitarios (APU's)

### 6.1. Introducción

En el presente capítulo se presenta una serie de matrices comparativas que buscan ponderar características físicas de las maderas ensayadas respecto a aplicaciones en particular. En la Tabla 44, se ponderan los diferentes tipos de maderas ensayadas sobre un valor de máximo de 5. Adicionalmente, se presentan tablas donde se ponderan las aplicaciones de las maderas en diferentes aplicaciones, y la elección de una aplicación y caso de estudio en particular. Para este caso de estudio se presentan alternativas de rehabilitación generando un presupuesto como los correspondientes precios unitarios que lo conforman. A través de esto, se pretende mostrar los diferentes beneficios de cada tipo de madera y cómo es que se podría emplear de forma práctica.

### 6.2. Definición del caso Matrices comparativas y caso de aplicación

En el desarrollo de aplicaciones estructurales, es fundamental considerar las propiedades mecánicas, físicas y las características de los materiales a utilizar. La Tabla 44 presenta una matriz comparativa que evalúa el desempeño de los dos tipos de materiales estudiados: madera plástica, madera natural TECA y un nuevo referente denominado madera natural, evaluados en función de diversos criterios que influyen en su desempeño.

En el análisis de la resistencia de la madera de TECA, se han considerado varios parámetros mecánicos. En cuanto a la resistencia a la compresión paralela a la fibra, la madera TECA presenta una resistencia a la compresión paralela a la fibra de 70 N/mm<sup>2</sup>, ubicándola dentro de un rango de resistencia suficiente para muchas aplicaciones comunes (Telles Antonio et al., 2017). La resistencia a la flexión también ha sido evaluada. La investigación muestra que la madera TECA tiene una resistencia a la flexión de aproximadamente 98 N/mm<sup>2</sup> (Rodríguez Anda et al., 2014).

Para una perspectiva comparativa, se ha analizado la resistencia a la flexión de la madera estructural en general, encontrando que esta puede alcanzar valores de hasta 120 N/mm<sup>2</sup> (Maderea, 2017).

Finalmente, la resistencia al corte ha sido estudiada. Se encontró que la madera estructural tiene una resistencia al corte de aproximadamente 9 N/mm<sup>2</sup> (Culasso, 2019).

La resistencia a compresión evalúa la capacidad del material para soportar fuerzas que intentan comprimirlo sin deformarse o romperse, siendo crucial en aplicaciones donde el material debe soportar cargas pesadas. La resistencia a flexión mide la habilidad del material para resistir fuerzas que intentan doblarlo, importante en estructuras donde el material estará sujeto a

fuerzas de flexión. La resistencia a corte analiza la capacidad del material para resistir fuerzas que intentan cortarlo, relevante en situaciones donde el material podría estar expuesto a fuerzas de cizallamiento. La humedad se centra en cómo el material maneja la exposición al agua, siendo ideal para aplicaciones en ambientes húmedos o exteriores. La versatilidad de forma mide la facilidad con la que el material puede ser moldeado o conformado en diferentes formas, importante para diseños que requieren flexibilidad en la forma y el acabado. La resistencia al fuego evalúa la capacidad del material para soportar altas temperaturas sin incendiarse o descomponerse, esencial en aplicaciones donde la seguridad contra incendios es una preocupación. La resistencia al desgaste analiza la durabilidad del material ante el uso y la abrasión, siendo un material con alta resistencia al desgaste más duradero en aplicaciones sometidas a fricción constante. La resistencia al efecto climático mide cómo el material maneja la exposición a diversas condiciones climáticas, incluyendo variaciones de temperatura, humedad y radiación solar, crucial para materiales utilizados en exteriores. La deformación se centra en la propensión del material a cambiar de forma bajo estrés o condiciones extremas, siendo un material con baja deformación más efectivo para mantener su forma original bajo cargas y tensiones. El costo inicial considera el costo de adquirir el material, una preocupación importante en la planificación de proyectos debido a restricciones presupuestarias. El costo final incluye el mantenimiento y reemplazo del material a largo plazo, siendo más económico durante su vida útil completa incluso si el costo inicial es alto. Cada material recibe una puntuación del 1 al 5 en cada criterio, siendo 1 la puntuación más baja y 5 la más alta.

*Tabla 44 Matriz Comparativa entre madera plástica, madera natural TECA y madera natural.*

<b>Criterio</b>	<b>Madera Plástica</b>	<b>Madera Natural TECA</b>	<b>Madera Natural</b>
<i>Resistencia a Compresión</i>	3	4.5	3
<i>Resistencia a Flexión</i>	1.5	4.5	3.5
<i>Resistencia a Corte</i>	4.5	3.5	3.5
<i>Humedad</i>	5	3.5	2.5
<i>Versatilidad de Forma</i>	4.5	3.5	3.5
<i>Resistencia al Fuego</i>	2	3.5	2.5
<i>Resistencia al Desgaste</i>	4.5	4	3.5
<i>Resistencia al Efecto climático</i>	5	4	3
<i>Deformación</i>	4.5	3	2.5
<i>Costo Inicial</i>	3	3.5	3.5
<i>Costo Final</i>	4	3.5	3.5
<b>Total /55</b>	<b>41.5</b>	<b>41</b>	<b>34.5</b>

De la Tabla 44 se obtienen las calificaciones sobre 55. Con sus respectivas calificaciones, la madera plástica destaca con una puntuación total de 41.5/55. En este sentido, la madera

plástica ofrece una excelente resistencia a la humedad y a los efectos climáticos, presenta alta versatilidad y baja deformación. Sin embargo, su costo inicial puede ser más elevado dependiendo de la empresa que lo distribuya. En comparación, la madera natural TECA, que fue la madera ensayada, obtiene una puntuación total de 41/55. Este tipo de madera sobresale en resistencia a compresión, flexión, corte y desgaste, además de tener buena resistencia a la humedad. No obstante, requiere mantenimiento regular y tiene un costo inicial y final elevado.

Por otro lado, las características de madera natural según bibliografía de investigaciones colombianas (Zorro & Ramirez, 2022) y argentinas (Culasso, 2019) obtuvieron una puntuación total de 34.5/55. Esta madera muestra una buena resistencia general. A pesar de esto, necesita tratamiento para mejorar su resistencia al agua, fuego y efectos climáticos. Su costo inicial es más bajo, pero requiere más mantenimiento en el largo plazo.

Un punto de vista importante es que la elección del material dependerá de la prioridad que se dé a los factores como el mantenimiento, el costo inicial y final, y la resistencia específica requerida para el proyecto. Cada uno de los materiales evaluados en la Tabla 44 presentan ventajas y desventajas particulares que deben ser consideradas en función de las necesidades y objetivos específicos de la aplicación estructural.

En la presente tesis, se comparó la competencia de cada material para una aplicación específica. En el primer ejemplo se consideró el uso en un muelle en una laguna. Para un muelle en una laguna, los criterios importantes son aquellos que aseguran la durabilidad y resistencia del material en un entorno húmedo y expuesto a la intemperie. El peso de ponderación refleja la importancia relativa de cada criterio para el uso específico. Por ejemplo, la resistencia a la humedad y al efecto climático tienen un peso mayor (15%) porque son especialmente importantes para un muelle en una laguna.

Para calcular los valores ponderados, se multiplica la puntuación del material obtenidos en la Tabla 44 por el peso de ponderación. Por ejemplo, para "Resistencia a Compresión" de la madera plástica, se tiene una puntuación de 3 y un peso de 10%, por lo que el valor ponderado es 0.3. Así, la suma de los valores ponderados da una puntuación total para cada material. La Tabla 45 detalla estos criterios, sus pesos de ponderación y las puntuaciones ponderadas para cada tipo de madera.

Tabla 45 Matriz de calificación para un muelle en una laguna.

<b>Criterio</b>	<b>Peso de Ponderación</b>	<b>Madera Plástica</b>	<b>Madera Natural TECA</b>	<b>Madera Natural</b>
<i>Resistencia a Compresión</i>	10%	0.3	0.45	0.3
<i>Resistencia a Flexión</i>	10%	0.15	0.45	0.35
<i>Resistencia a Corte</i>	10%	0.45	0.35	0.35
<i>Humedad</i>	15%	0.75	0.525	0.375
<i>Versatilidad de Forma</i>	5%	0.225	0.175	0.175
<i>Resistencia al Fuego</i>	5%	0.1	0.175	0.125
<i>Resistencia al Desgaste</i>	10%	0.45	0.4	0.35
<i>Resistencia al Efecto climático</i>	15%	0.75	0.6	0.45
<i>Deformación</i>	5%	0.225	0.15	0.125
<i>Costo Inicial</i>	5%	0.15	0.175	0.175
<i>Costo Final</i>	10%	0.4	0.35	0.35
<b>Total /5</b>	<b>100%</b>	<b>3.95</b>	<b>3.8</b>	<b>3.125</b>

En este ejemplo, la madera plástica obtiene la puntuación total más alta (3.95/5.00), sugiriendo que es la mejor opción para un muelle en una laguna.

En el segundo ejemplo, se consideró el uso de los materiales en un puente peatonal. Para este tipo de estructura, los criterios importantes son aquellos que aseguran la resistencia estructural y la durabilidad del material bajo diversas condiciones. La resistencia a flexión, a compresión, al corte, y al fuego, así como la resistencia a la humedad y a los efectos climáticos, son importantes para un puente peatonal, ya que estas propiedades aseguran la integridad y seguridad del puente a lo largo del tiempo.

Los valores ponderados se calculan de la misma manera que en el primer ejemplo. En la Tabla 6 se presentan los criterios, sus pesos de ponderación y las puntuaciones ponderadas para cada tipo de madera en la aplicación de un puente peatonal.

Tabla 46 Matriz de calificación para un puente peatonal.

<b>Criterio</b>	<b>Peso de Ponderación</b>	<b>Madera Plástica</b>	<b>Madera Natural TECA</b>	<b>Madera Natural</b>
<i>Resistencia a Compresión</i>	10%	0.3	0.45	0.3
<i>Resistencia a Flexión</i>	15%	0.225	0.675	0.525
<i>Resistencia a Corte</i>	10%	0.45	0.35	0.35
<i>Humedad</i>	10%	0.5	0.35	0.25
<i>Versatilidad de Forma</i>	5%	0.225	0.175	0.175
<i>Resistencia al Fuego</i>	10%	0.2	0.35	0.25
<i>Resistencia al Desgaste</i>	10%	0.45	0.4	0.35
<i>Resistencia al Efecto climático</i>	10%	0.5	0.4	0.3

<i>Deformación</i>	5%	0.225	0.15	0.125
<i>Costo Inicial</i>	5%	0.15	0.175	0.175
<i>Costo Final</i>	10%	0.4	0.35	0.35
<b>Total /5</b>	<b>100%</b>	<b>3.775</b>	<b>3.825</b>	<b>3.15</b>

En este caso, la madera natural TECA obtuvo la puntuación total más alta (3.825/5.00), lo que sugiere que es la mejor opción para un puente peatonal debido a su superior resistencia a la flexión.

En el tercer ejemplo, se consideró el uso de los materiales en la construcción de una cabaña. Para este tipo de estructura, los criterios importantes son aquellos que aseguran la resistencia y durabilidad del material, así como su costo y facilidad de manejo. La resistencia a compresión, a flexión, al corte, y a los efectos climáticos, junto con la deformación y los costos inicial y final, son factores críticos para una cabaña, ya que estos aspectos aseguran que la estructura sea sólida, duradera y económicamente viable. En la Tabla 47 se presentan los criterios, sus pesos de ponderación y las puntuaciones ponderadas para cada tipo de madera en la aplicación de una cabaña.

*Tabla 47 Matriz de calificación para una cabaña*

<b>Criterio</b>	<b>Peso de Ponderación</b>	<b>Madera Plástica</b>	<b>Madera Natural TECA</b>	<b>Madera Natural</b>
<i>Resistencia a Compresión</i>	15%	0.45	0.675	0.45
<i>Resistencia a Flexión</i>	15%	0.225	0.675	0.525
<i>Resistencia a Corte</i>	10%	0.45	0.35	0.35
<i>Humedad</i>	5%	0.25	0.175	0.125
<i>Versatilidad de Forma</i>	5%	0.225	0.175	0.175
<i>Resistencia al Fuego</i>	5%	0.1	0.175	0.125
<i>Resistencia al Desgaste</i>	5%	0.225	0.2	0.175
<i>Resistencia al Efecto climático</i>	10%	0.5	0.4	0.3
<i>Deformación</i>	10%	0.45	0.3	0.25
<i>Costo Inicial</i>	10%	0.3	0.35	0.35
<i>Costo Final</i>	10%	0.4	0.35	0.35
<b>Total /5</b>	<b>100%</b>	<b>3.575</b>	<b>3.825</b>	<b>3.175</b>

En este caso, la madera natural TECA obtiene la puntuación total más alta (3.825/5.00), lo que sugiere que es la mejor opción para la construcción de una cabaña debido a su superior resistencia a compresión, flexión, y efectos climáticos, además de su adecuada resistencia al corte y su viabilidad económica en términos de costos inicial y final.

Una pérgola requiere materiales que puedan resistir condiciones exteriores variadas y que sean estéticamente versátiles. Los criterios fundamentales incluyen la resistencia a compresión y flexión, la resistencia a la humedad y desgaste, la resistencia al efecto climático, la versatilidad de forma, la deformación, y los costos inicial y final del material. La Tabla 48 muestra estos criterios, sus pesos de ponderación y las puntuaciones ponderadas para cada tipo de madera en el contexto de una pérgola

Tabla 48 Matriz de calificación para una pérgola

<b>Criterio</b>	<b>Peso de Ponderación</b>	<b>Madera Plástica</b>	<b>Madera Natural TECA</b>	<b>Madera Natural</b>
<i>Resistencia a Compresión</i>	10%	0.3	0.45	0.3
<i>Resistencia a Flexión</i>	10%	0.15	0.45	0.35
<i>Resistencia a Corte</i>	5%	0.225	0.175	0.175
<i>Humedad</i>	10%	0.5	0.35	0.25
<i>Versatilidad de Forma</i>	10%	0.45	0.35	0.35
<i>Resistencia al Fuego</i>	5%	0.1	0.175	0.125
<i>Resistencia al Desgaste</i>	10%	0.45	0.4	0.35
<i>Resistencia al Efecto climático</i>	10%	0.5	0.4	0.3
<i>Deformación</i>	10%	0.45	0.3	0.25
<i>Costo Inicial</i>	10%	0.3	0.35	0.35
<i>Costo Final</i>	10%	0.4	0.35	0.35
<b>Total /5</b>	<b>100%</b>	<b>3.825</b>	<b>3.75</b>	<b>3.15</b>

En este caso, la madera plástica obtiene la puntuación total más alta (3.825/5.00), lo que sugiere que podría ser la mejor opción para una pérgola.

Para el quinto ejemplo, se analiza el uso de materiales en un encofrado. Un encofrado requiere materiales que puedan soportar condiciones de construcción severas y que sean fáciles de manejar y reutilizar. Los criterios clave incluyen la resistencia a la humedad, la versatilidad de forma, la resistencia al desgaste, la deformación y la resistencia al efecto climático. La Tabla 9 muestra estos criterios y sus puntuaciones ponderadas para cada tipo de madera:

Tabla 49 Matriz de calificación para un encofrado

<b>Criterio</b>	<b>Peso de Ponderación</b>	<b>Madera Plástica</b>	<b>Madera Natural TECA</b>	<b>Madera Natural</b>
<i>Resistencia a Compresión</i>	5%	0.15	0.225	0.15
<i>Resistencia a Flexión</i>	5%	0.075	0.225	0.175
<i>Resistencia a Corte</i>	5%	0.225	0.175	0.175
<i>Humedad</i>	15%	0.75	0.525	0.375
<i>Versatilidad de Forma</i>	15%	0.675	0.525	0.525
<i>Resistencia al Fuego</i>	5%	0.1	0.175	0.125

<i>Resistencia al Desgaste</i>	15%	0.675	0.6	0.525
<i>Resistencia al Efecto climático</i>	10%	0.75	0.6	0.45
<i>Deformación</i>	15%	0.45	0.3	0.25
<i>Costo Inicial</i>	5%	0.15	0.175	0.175
<i>Costo Final</i>	5%	0.2	0.175	0.175
<b>Total /5</b>	<b>100%</b>	<b>4.25</b>	<b>3.7</b>	<b>3.1</b>

En este caso, la madera plástica obtiene la puntuación total más alta (4.2/5.00), lo que sugiere que podría ser la mejor opción para un encofrado debido a su alta resistencia a la humedad, versatilidad de forma y resistencia al desgaste, características necesarias para esta aplicación específica en la construcción.

Para resumir qué tipo de madera es mejor según los cinco ejemplos proporcionados se realiza una tabla comparativa (Tabla 50) basada en las puntuaciones totales obtenidas para cada tipo de madera en cada aplicación específica.

*Tabla 50 Tabla comparativa de mejor madera para diferentes usos*

<b>Uso/Ejemplo</b>	<b>Madera Plástica</b>	<b>Madera Natural TECA</b>	<b>Madera Natural</b>
<b><i>Muelle en una laguna</i></b>	<b>3.95</b>	<b>3.8</b>	<b>3.125</b>
<b><i>Puente peatonal</i></b>	<b>3.625</b>	<b>3.825</b>	<b>3.15</b>
<b><i>Cabaña</i></b>	<b>3.575</b>	<b>3.825</b>	<b>3.175</b>
<b><i>Pérgola</i></b>	<b>3.825</b>	<b>3.75</b>	<b>3.15</b>
<b><i>Encofrado</i></b>	<b>4.2</b>	<b>3.7</b>	<b>3.1</b>

De la tabla se infiere que, para un muelle en una laguna, la madera plástica es la mejor opción. Para un puente peatonal, la elección entre la madera plástica y la madera natural TECA es muy cercana, con una ligera ventaja para la última. Para una cabaña, la madera natural TECA y la madera plástica son las mejores opciones, con una ligera ventaja para la primera. Para una pérgola, la madera plástica es la mejor opción. Para un encofrado, la madera plástica es claramente la mejor opción.

La madera plástica y la madera natural tiene ventajas y desventajas dependiendo de la aplicación específica del proyecto. La madera natural TECA tiende a ser superior en aplicaciones estructurales debido a su alta resistencia mecánica, mientras que la madera plástica destaca en ambientes húmedos y con exposición a efectos climáticos debido a su resistencia y baja necesidad de mantenimiento.

#### - Elección de un caso de estudio

Con el estudio de estas variables, se tomará el caso de puente peatonal para realizar un análisis más profundo del mismo. Para este caso, se tomará el puente peatonal César Dávila Andrade en Cuenca, Ecuador, que une la avenida 12 de octubre con la calle La Condamine en el sector de la Universidad de Cuenca. Se realizará el Análisis de Precios Unitarios (APU's) para las opciones de madera Teca y madera plástica. En las opciones de madera plástica, se investigarán los costos y productos de dos empresas especializadas en madera plástica; Disecoarvol y Botellas con Amor; para determinar su idoneidad y adecuación para el proyecto del puente peatonal mencionado.

### 6.3. Presupuesto y Análisis de Precios Unitarios

A continuación, se presenta un presupuesto referencial y una serie de análisis de precios unitarios que busca representar el costo aproximado que podría involucrar la rehabilitación del caso de aplicación presentado anteriormente. Para esto en la siguiente tabla presenta las posibles alternativas de rehabilitación, Madera TECA corresponde a la alternativa de rehabilitación con madera natural, y dos alternativas de madera plástica comercial (Disecoarvol – Botellas con amor). Las cantidades se han aproximado a través del metrado de las dimensiones del sitio de estudio en campo de forma manual.

Para la realización de estos presupuestos se ha contemplado principalmente:

- Madera plástica/natural, de acuerdo con la alternativa como material principal
- Limpieza en el caso de la madera natural para permitir tanto su manipulación asegurar un terminado de mejor calidad.
- Transporte de materiales hacia el área de colocación se ha considerado una distancia igual para todas las alternativas de rehabilitación.
- Colocación de la madera, en los peldaños como en la losa del puente a través de clavos de 2 a 4 pulgadas.
- En el caso de madera natural, se ha colocado un lacado una vez realizada la colocación de esta para prevenirla de daños tanto por cambios de humedad como por el uso una vez este se ha instalado.
- Los costos correspondientes a mano de obra corresponden a los valores referenciales del sistema de manejo de costos INTERPRO.

Ciertas observaciones que pueden escapar y que han de ser necesarias de evaluar al momento de optar por alguna alternativa pueden ser:

- Costos relacionados por la disponibilidad de materiales y su compra al proveedor correspondiente.
- Costos relacionados con el mantenimiento durante la etapa operativa del puente, así como desgaste relacionado con la humedad de la zona como por la precipitación.
- Costos relacionados con la utilidad generada para la empresa o persona encargada de la instalación.
- Costos indirectos generados por compra de materiales o herramientas varias o actualización de salarios de mano de obra calificada o no para la instalación de la madera.
- Costos correspondientes al Impuesto al Valor Agregado (IVA) de cada alternativa.

Tabla 51 Presupuesto referencial de alternativas de rehabilitación del puente César Dávila Andrade

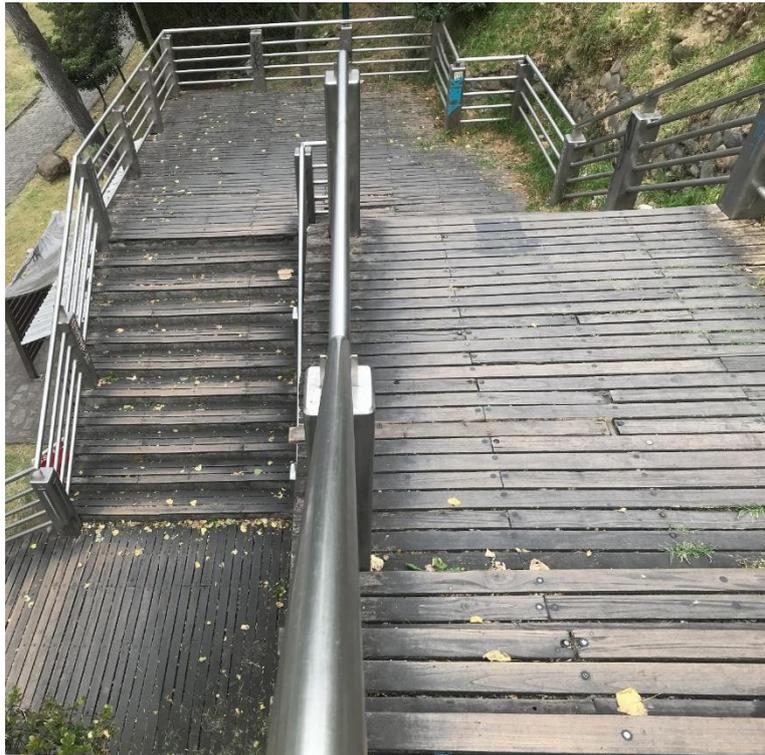
PRESUPUESTO POR CADA ALTERNATIVA						
Ítem	Código	Descripción	Unidad	Cantidad	P.Unitario	P.Total
<b>1.1</b>		<b>MADERA TECA</b>				<b>22.407,19</b>
1.1.1	501BJW	Sum, Tablon 230x19x4mm, Madera TECA	u	577,00	24,50	14.136,50
1.1.2	502AWE	_Limpieza de Madera	m2	240,30	5,11	1.227,93
1.1.3	501BK0	_Colocación Madera	m2	240,30	7,43	1.785,43
1.1.4	501BJG	Transporte de materiales	u	1,00	88,48	88,48
1.1.5	502AWF	_Lacado de Madera TECA	m2	240,30	21,51	5.168,85
<b>1.2</b>		<b>MADERA PLASTICA - DISECOARVOL</b>				<b>23.395,28</b>
1.2.1	501BJX	Sum, Tablon 200x22x4mm, Madera Plastica "Disecoarvol"	u	573,00	37,39	21.424,47
1.2.2	501BK0	_Colocacion Madera	m2	240,30	7,43	1.785,43
1.2.3	502AWG	_Corte de madera	m	85,00	1,14	96,90
1.2.4	501BJG	Transporte de materiales	u	1,00	88,48	88,48
<b>1.3</b>		<b>MADERA PLASTICA – BOTELLAS CON AMOR</b>				<b>14.154,19</b>
1.3.1	501BJY	Sum, Tablon 200x9x4mm, Madera Plastica "Botellas de Amor"	u	1.402,00	8,69	12.183,38
1.3.2	501BK0	_Colocacion Madera	m2	240,30	7,43	1.785,43
1.3.3	502AWG	_Corte de madera	m	85,00	1,14	96,90
1.3.4	501BJG	Transporte de materiales	u	1,00	88,48	88,48

Los APU's presentados en el presupuesto referencial de las alternativas de madera natural TECA, madera plástica Disecoarvol y madera plástica Botellas con Amor, se encuentran anexos al presente documento en el Anexo 2.

### 6.3. Estado actual del caso de estudio y propuestas de diseño

En la Figura 78 a la Figura 80 se presentan fotografías realizadas durante la visita al sitio de estudio en donde se puede apreciar el estado del puente César Dávila. Se puede observar que el puente presenta huellas conformadas por tablonces de madera sujetos a correas o tiras perpendiculares a la huella a través de tornillos y pernos metálicos. El estado de estas, las cuales presenta signos de desgaste claramente marcados debido al tráfico peatonal y a las condiciones ambientales de la zona. Los tablonces de madera del puente en su estado actual son de madera natural, la cual no ha tenido un mantenimiento a la fecha de redacción de este documento.

Adicionalmente, utilizando programas de modelado SketchUp y Lumion se han generados vistas de las propuestas de rehabilitación de esta estructura. En la Figura 81 a la Figura 84 se presenta una vista de la propuesta a través de la aplicación de la madera natural y en las Figura 85 a la Figura 88 se presentan las aplicaciones a través del uso de la madera plástica.



*Figura 77 Vista superior del puente Cesar Dávila Andrade – Estado Actual*



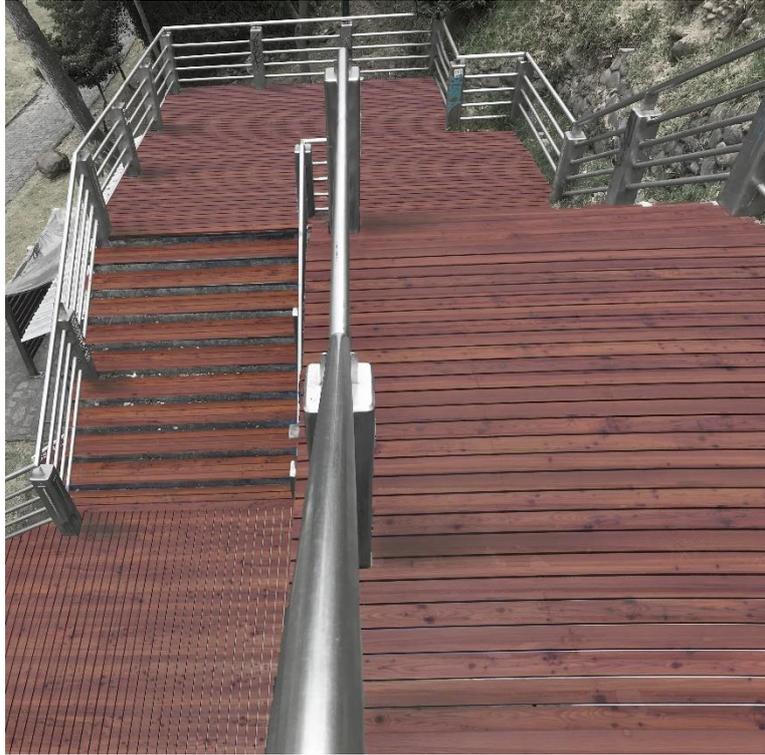
*Figura 78 Vista sobre el río Tomebamba del puente Cesar Dávila Andrade – Estado Actual*



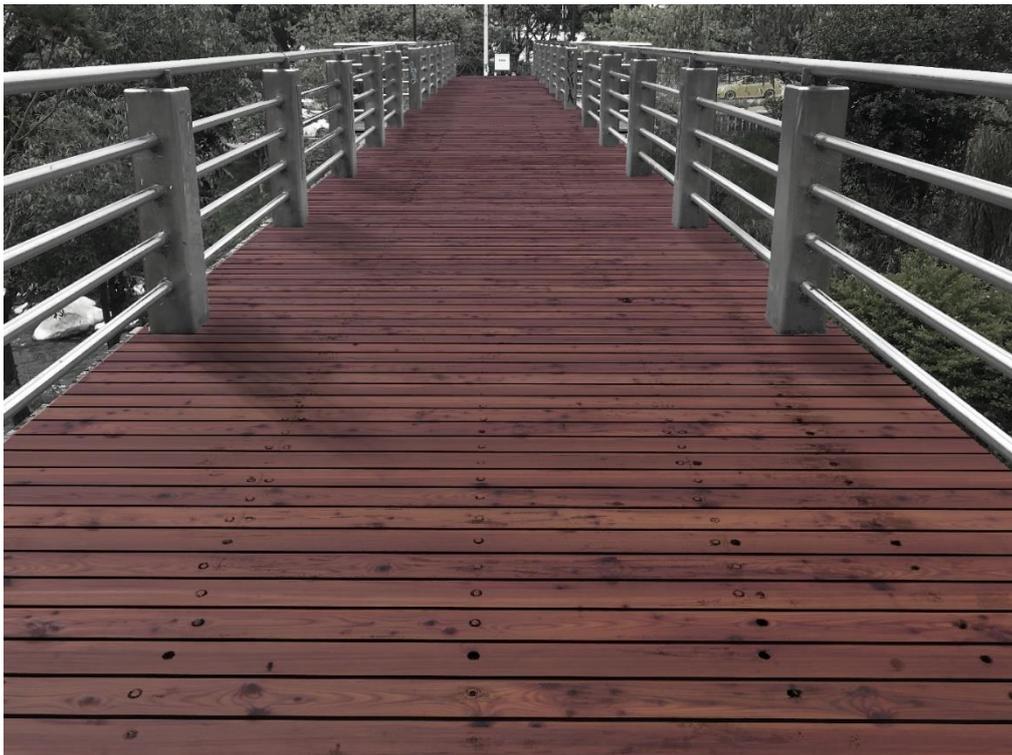
*Figura 79 Vista de las gradas del puente Cesar Dávila Andrade – Estado Actual*



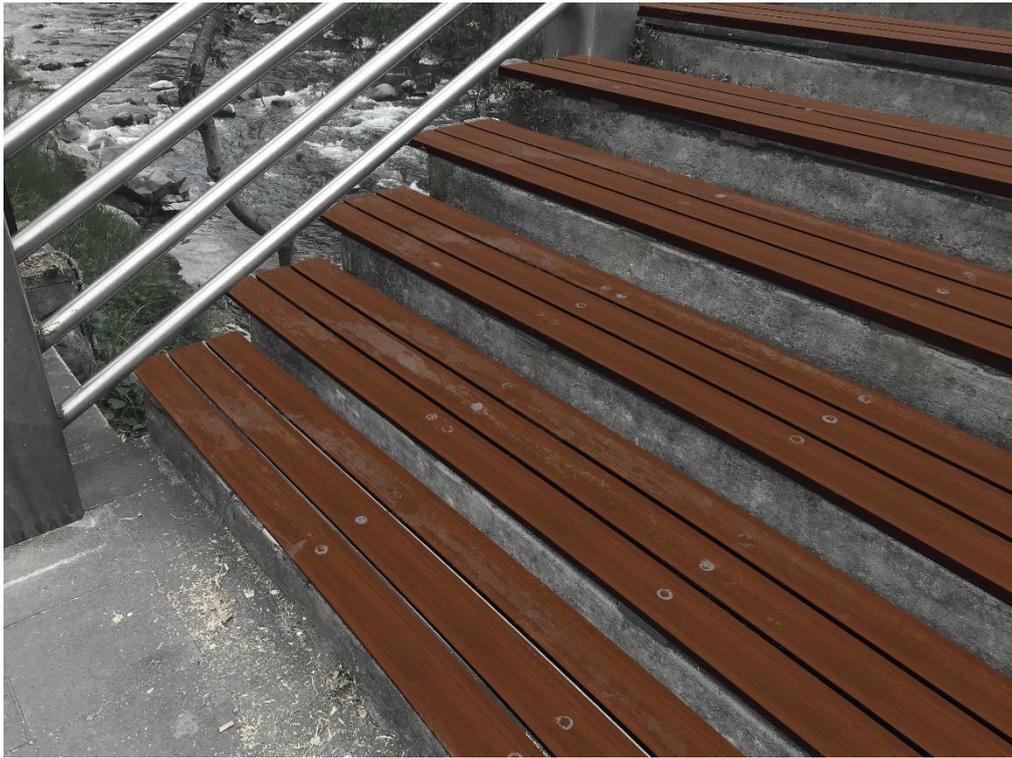
*Figura 80 Vista sobre el río Tomebamba del puente Cesar Dávila Andrade – Estado Actual*



*Figura 81 Vista superior del puente Cesar Dávila Andrade - Madera Plástica*



*Figura 82 Vista sobre el río Tomebamba del puente Cesar Dávila Andrade – Madera Plástica*



*Figura 83 Vista de las gradas del puente Cesar Dávila Andrade – Madera Plástica*

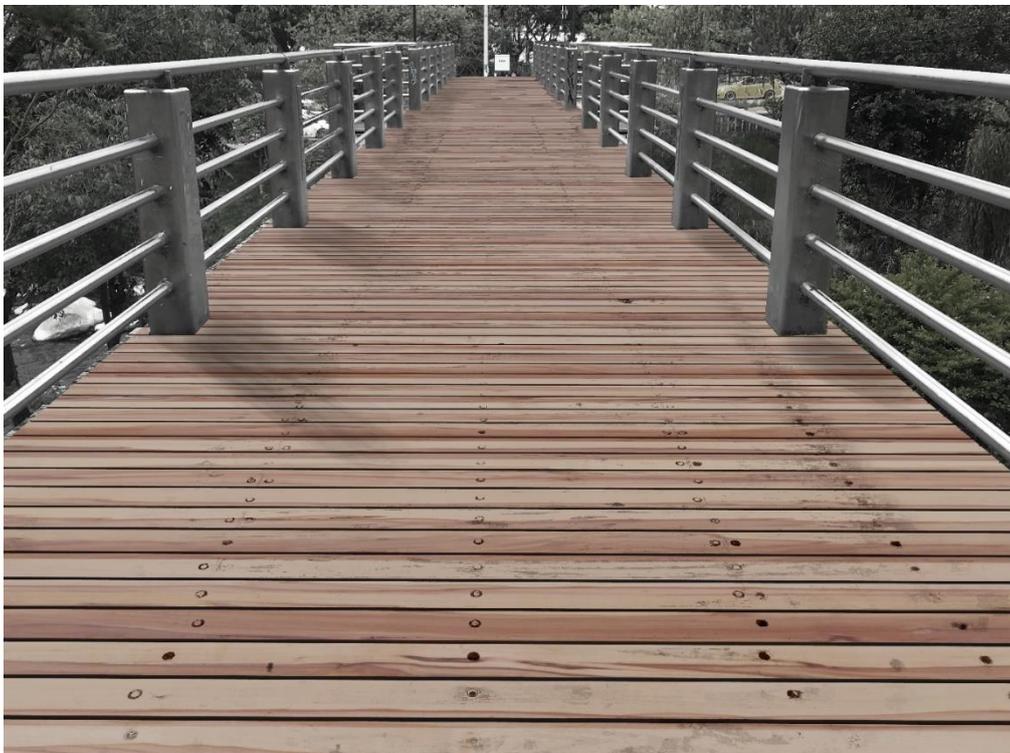


*Figura 84 Vista sobre el río Tomebamba del puente Cesar Dávila Andrade – Madera Plástica*

## 6.3.1. Remodelación de puente con madera natural



*Figura 85 Vista superior del puente Cesar Dávila Andrade – Madera Natural*



*Figura 86 Vista sobre el río Tomebamba del puente Cesar Dávila Andrade – Madera Natural*



*Figura 87 Vista de las gradas del puente Cesar Dávila Andrade – Madera Natural*



*Figura 88 Vista sobre el río Tomebamba del puente Cesar Dávila Andrade – Madera Natural*

#### 6.4. Conclusiones

La matriz comparativa demuestra que tanto la madera plástica como la madera natural TECA presentan ventajas significativas en diferentes contextos de aplicación estructural. La madera plástica destaca por su alta resistencia a la humedad, baja deformación y resistencia a efectos climáticos, mientras que la madera natural TECA sobresale en resistencia mecánica, incluyendo compresión, flexión y corte.

La elección del material más adecuado depende del tipo de estructura. Para un muelle en una laguna, la madera plástica es la opción preferida debido a su resistencia a la humedad y efectos climáticos. En un puente peatonal y una cabaña, la madera natural TECA es ligeramente superior debido a su mayor resistencia a la flexión y compresión. Para una pérgola, la madera plástica es nuevamente preferida por su versatilidad y durabilidad en exteriores. En un encofrado, la madera plástica es claramente la mejor opción por su resistencia al desgaste y facilidad de manejo.

Si bien la madera plástica puede tener un costo inicial más alto, su menor necesidad de mantenimiento a largo plazo la convierte en una opción económicamente viable. La madera natural TECA, aunque presenta un alto rendimiento mecánico, requiere un mantenimiento regular, lo que puede aumentar su costo total a lo largo del tiempo.

La decisión final sobre qué material utilizar debe basarse en una evaluación detallada de las necesidades específicas del proyecto, considerando criterios como resistencia mecánica, durabilidad, impacto ambiental, costos iniciales y de mantenimiento, y las condiciones específicas del entorno de aplicación.

Para el análisis de rehabilitación del puente peatonal César Dávila Andrade en Cuenca, Ecuador, se consideraron diferentes alternativas de materiales, específicamente madera TECA y madera plástica, con un enfoque particular en los productos ofrecidos por las empresas Disecoarvol y Botellas con Amor. Este estudio tuvo como objetivo evaluar la idoneidad y adecuación de estos materiales para el proyecto, a través del Análisis de Precios Unitarios (APU's).

Con la información obtenida, se encontró que con el uso de madera plástica Botellas con Amor, es una opción económicamente más viable que el uso de la madera natural. Esto sumado a que la instalación de la madera plástica es más sencilla y requiere menor mantenimiento, lo hacen la opción más viable.

## 7. Conclusiones y Recomendaciones

### 7.1. Conclusiones

La comparación entre madera natural y madera plástica revela un panorama complejo donde cada material tiene sus fortalezas y debilidades. La madera natural sobresale en términos de resistencia mecánica y estética tradicional, mientras que la madera plástica ofrece ventajas significativas en durabilidad, estabilidad ambiental y sostenibilidad a largo plazo.

La decisión entre estos materiales debe basarse en un análisis cuidadoso de los requerimientos específicos del proyecto, considerando factores como el rendimiento mecánico, la durabilidad, el impacto ambiental y las implicaciones económicas a largo plazo. A medida que la tecnología avanza y las preocupaciones ambientales aumentan, es probable que veamos un uso más generalizado de la madera plástica en ciertas aplicaciones, mientras que la madera natural seguirá siendo valorada por sus propiedades únicas y su atractivo natural.

La madera plástica exhibe un comportamiento predominantemente dúctil en diferentes modos de carga. Se observa una falla dúctil en ensayos de corte, compresión y flexión. Este comportamiento, como señalan Ashby y Jones (2012), sugiere una mayor capacidad de deformación plástica antes de la falla catastrófica. En contraste, la madera natural muestra un comportamiento más frágil en estos mismos ensayos, caracterizado por fallas abruptas y menor deformación plástica.

La ductilidad superior de la madera plástica indica una mayor capacidad para absorber energía y resistir cargas dinámicas. Kretschmann (2010) sugiere que esta característica puede ser beneficiosa en aplicaciones donde la resistencia al impacto y la capacidad de deformación son cruciales.

A pesar de su mayor ductilidad, la madera plástica muestra valores de resistencia mecánica inferiores a la madera natural en ensayos de corte, flexión y compresión. Esta diferencia en resistencia, como explica Dinwoodie (2000), se debe principalmente a la estructura celular y las propiedades intrínsecas de la madera natural, que ha evolucionado para soportar cargas en su entorno natural.

La mayor rigidez de la madera natural, evidenciada en las gráficas de ensayos de laboratorio, sugiere una mejor capacidad para mantener su forma bajo carga. Esto puede ser preferible en aplicaciones donde la deformación mínima es un requisito crítico.

La madera plástica demuestra una mayor resistencia a factores ambientales como la humedad y los cambios climáticos extremos. Su composición polimérica, como señalan Stark et al. (2010), le confiere una mayor estabilidad dimensional y resistencia a la degradación biológica. Esto se traduce en un ciclo de vida más largo y menores requerimientos de mantenimiento en comparación con la madera natural.

La resistencia superior a la abrasión de la madera plástica permite su uso en diseños más innovadores y en condiciones más exigentes. Esta característica, junto con su menor tasa de desgaste, la hace particularmente adecuada para aplicaciones en climas extremos o cambiantes, donde la madera natural podría degradarse más rápidamente.

La madera plástica se presenta como una alternativa viable para el uso sostenible del medio ambiente. Su producción a partir de materiales reciclados y su capacidad de ser reutilizada al final de su vida útil contribuyen a la reducción del impacto ambiental. Klyosov (2007) destaca que este aspecto es particularmente relevante en el contexto de la creciente preocupación por la sostenibilidad en la industria de la construcción.

Por otro lado, como resultado de la matriz de Leopold la madera natural, aunque renovable, requiere una gestión forestal cuidadosa para ser verdaderamente sostenible. Su procesamiento y mantenimiento pueden implicar un mayor impacto ambiental debido a los tratamientos químicos necesarios para su preservación, aunque biodegradable, puede terminar en vertederos si no se gestiona adecuadamente, generando potencialmente más contaminación a largo plazo. En contraste, la madera plástica al final de su vida útil, puede ser reciclada para formar nuevos productos, contribuyendo a la economía circular.

Desde una perspectiva económica, la madera plástica puede resultar más rentable a largo plazo debido a su mayor durabilidad y menores requerimientos de mantenimiento. Sin embargo, el costo inicial más alto de la madera plástica debe ser considerado en el análisis costo-beneficio de cada proyecto específico.

La madera natural sigue siendo preferida en aplicaciones donde la estética natural y la alta resistencia mecánica son prioritarias. Por otro lado, la madera plástica es más adecuada para aplicaciones que requieren alta durabilidad, resistencia a la intemperie y bajo mantenimiento.

La mayor resistencia a la abrasión y la estabilidad dimensional de la madera plástica abren nuevas posibilidades en el diseño y la arquitectura. Estas propiedades permiten formas y aplicaciones que podrían ser difíciles o imposibles con madera natural.

La investigación continua en ambos materiales y el desarrollo de nuevos compuestos híbridos podrían llevar a soluciones que combinen lo mejor de ambos mundos, ofreciendo materiales con excelentes propiedades mecánicas, alta durabilidad y un perfil ambiental favorable.

### Referencias

- ISO 14040:2006 Gestión Ambiental. Análisis Del Ciclo de Vida. Principios y Marco de Referencia (2006).
- ISO 14044:2006 Gestión Ambiental. Análisis de Ciclo de Vida. Requisitos y Directrices. (2006).
- Albán, L. (2019). *Elaboración de madera plástica a partir de polímeros Post Consumo*.
- Angumba, P. (2016). *Ladrillos elaborados con plástico reciclado PET para mampostería no portante*. Universidad de Cuenca.
- Carangui, S., & Lasso, V. (2010). *Estudio de los sistemas constructivos tradicionales en madera*. Universidad de Cuenca.
- Culasso, M. G. (2019). La madera como material estructural. *Estructuras*, 2(3–4), 10–18. <https://revistas.unc.edu.ar/index.php/estructuras/article/view/27075>
- El nuevo tiempo. (2023, August 2). *Universidad Católica de Cuenca brinda nuevas alternativas de reciclaje*.
- Faraday, E. (2020, May 29). *Construyen casas Sustentables de Madera sin Madera*.
- Global Plastics Outlook*. (2022). OECD. <https://doi.org/10.1787/de747aef-en>
- Khoo, K. S., Ho, L. Y., Lim, H. R., Leong, H. Y., & Chew, K. W. (2021). Plastic waste associated with the COVID-19 pandemic: Crisis or opportunity? *Journal of Hazardous Materials*, 417, 126108. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.126108>
- Knabb, K. A., Erel, Y., Tirosh, O., Rittenour, T., Laparidou, S., Najjar, M., & Levy, T. E. (2016). Environmental impacts of ancient copper mining and metallurgy: Multi-proxy investigation of human-landscape dynamics in the Faynan valley, southern Jordan. *Journal of Archaeological Science*, 74, 85–101. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2016.09.003>
- Leopold, L. B., Clarke, F. E., Bacon, E. H., & Rantz, S. A. (1971). Quantifying environmental impact: A method for assessing environmental effects of proposed actions. . *U.S Geological Survey*. [https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5778102/mod\\_resource/content/1/full\\_leopold\\_matrix.pdf](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5778102/mod_resource/content/1/full_leopold_matrix.pdf)
- Madera verde Ecuador. (2020). *Ficha técnica de la madera plástica reciclada* (pp. 1–7). [www.maderaverdeecuador.com](http://www.maderaverdeecuador.com)
- Maderea. (2017). *Propiedades y especies para madera estructural II: Propiedades mecánicas de la madera*. <https://www.maderea.es/propiedades-y-especies-para-madera-estructural-ii-propiedades-mecanicas-de-la-madera/#:~:text=La%20flexi%C3%B3n%20es%20la%20resistencia,N%2Fmm%20para%20madera%20estructural>

- NTE INEN 2841 Gestión Ambiental. Estandarización de Colores Para Recipientes de Depósito y Almacenamiento Temporal de Residuos Sólidos. Requisitos (2014).
- Patrício Silva, A. L., Prata, J. C., Walker, T. R., Duarte, A. C., Ouyang, W., Barcelò, D., & Rocha-Santos, T. (2021). Increased plastic pollution due to COVID-19 pandemic: Challenges and recommendations. *Chemical Engineering Journal*, 405, 126683. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2020.126683>
- Pinto Landeta, J. A. (2014). *Andrés, J.L., & Landeta, P. (2014). PLAN DE GESTIÓN INTEGRAL DE DESECHOS SÓLIDOS PARA LOS CANTONES DE IBARRA, OTAVALO, URCUQUÍ, ANTONIO ANTE Y COTACACHI, PROVINCIA DE IMBABURA - ECUADOR.*
- Ponce, V. (n.d.). *The Leopold Matrix for evaluating environmental impact.*
- Recicladora Barahona. (n.d.). *Madera Plástica Ecuador.*
- Rodríguez Anda, R., Zamora Natera, J. F., Silva Guzman, J. A., Salcedo Perez, E., & Fuentes Talavera, F. J. (2014). Propiedades físico-mecánicas de madera de TECA de plantaciones comerciales. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 5(24).
- Rodríguez, C., & Gamba, O. (2008). Plan de negocios para el diseño de artículos fabricados en madera plástica para la industria de la construcción. In *Gamba, . Pontificia Universidad Javeriana.*
- Rojas, N. (2019). *Diseño de pavimento modificado con la adición de plástico reciclado para ciclovías.*
- SETAC. (1993). Directrices para la evaluación del ciclo de vida: Código de prácticas. *Society of Environmental Toxicology and Chemistry.*
- Statista Research Department. (2023). *Global plastic production 2021. Annual production of plastics worldwide from 1950 to 2021.*
- Telles Antonio, R., Nájera Luna, J., Alanís Rodríguez, E., Aguirre Calderón, O., Jimenez Perez, J., Gomez Cárdenas, M., & Muñoz Flores, H. (2017). Propiedades físico-mecánicas de la madera *Tectona grandis* L. f. de una plantación comercial en el estado de Michoacán. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 8(40).
- Vanegas-Padilla, A. P., Fuentes-Fuentes, K. D., & Torres-Cervera, K. P. (2021a). Comparación del ACV de 2 estibas construidas con madera natural y madera plástica en Simapro 8.4.0. *Revista Politécnica*, 17(34), 9–29. <https://doi.org/10.33571/rpolitec.v17n34a1>
- Venegas, J. D., & Ruiz, C. (2018). *Plan de negocios para la empresa Madera Verde Ecuador con el propósito de dar a conocer la madera plástica en Guayaquil.*
- Zorro, P., & Ramirez, L. (2022). *La madera plástica como alternativa para construcción de viviendas rurales.*

## Anexos

Anexo 1. Registro de dimensiones de probetas

Anexo 2. Análisis de Precios Unitarios

# **ANEXO 1**

***Registro de dimensiones de probetas***

## RESULTADOS DE FLEXIÓN

### RESULTADO ENSAYO FLEXIÓN MADERA NATURAL

NOMBRE	HUMEDAD	FUERZA (KN)	TENSIÓN (Mpa)	DESPLAZAMIENTO (mm)	ESFUERZO (KN/m2)	TIEMPO (seg)
<i>H1.F</i>	25.9%	5.13	56.65	16.12	171.39	387.99
<i>H2.F</i>	25.4%	7.48	78.69	16.14	243.91	388.54
<i>H3.F</i>	24.7%	7.84	84.49	16.22	262.05	390.37
<b>PROMEDIO H</b>	<b>25.3%</b>	<b>7.66</b>	<b>81.59</b>	<b>16.18</b>	<b>252.98</b>	
<i>BT1.F</i>	18.9%	8.85	102.72	15.72	304.05	378.27
<i>BT2.F</i>	17.8%	9.01	104.57	12.58	309.53	303.05
<i>BT3.F</i>	17.8%	11.11	128.93	10.10	391.42	243.44
<b>PROMEDIO BT</b>	<b>18.2%</b>	<b>8.93</b>	<b>103.65</b>	<b>14.15</b>	<b>306.79</b>	
<i>S1.F</i>	0.0%	7.02	81.39	20.25	240.91	487.16
<i>S2.F</i>	0.0%	8.27	95.92	16.11	283.93	387.67
<i>S3.F</i>	0.0%	8.61	99.86	16.01	288.38	385.22
<b>PROMEDIO S</b>	<b>0.0%</b>	<b>8.44</b>	<b>97.89</b>	<b>16.06</b>	<b>286.16</b>	
<i>BTT1.F</i>	15.8%	4.37	50.73	8.71	150.17	209.93
<i>BTT2.F</i>	16.4%	6.33	73.48	16.95	217.50	407.92
<i>BTT3.F</i>	16.4%	7.24	83.94	18.45	248.46	443.90
<b>PROMEDIO BTT</b>	<b>16.2%</b>	<b>6.78</b>	<b>78.71</b>	<b>17.70</b>	<b>232.98</b>	

### DIMENSIONES PARA ENSAYO FLEXIÓN MADERA NATURAL

NOMBRE	PESO 1 (gr)	PESO 2 (gr)	AREA (cm2)	LARGO (cm)	ANCHO (cm)	ESPESOR (cm)	VOLUMEN (cm3)	DENSIDAD (gr/cm3)
<i>H1.F</i>	808	1090	299.3	73	4.1	4	1197.20	0.67
<i>H2.F</i>	795	1065	306.6	73	4.2	4	1226.40	0.65
<i>H3.F</i>	828	1099	299.3	73	4.1	4.1	1227.13	0.67
<b>PROMEDIO H</b>			<b>301.73</b>				<b>1216.91</b>	<b>0.67</b>
<i>BT1.F</i>	715	882	291.2	72.8	4	4	1164.80	0.61
<i>BT2.F</i>	760	925	291.2	72.8	4	4	1164.80	0.65
<i>BT3.F</i>	787	957	283.92	72.8	3.9	4	1135.68	0.69
<b>PROMEDIO BT</b>			<b>288.77</b>				<b>1155.09</b>	<b>0.65</b>
<i>S1.F</i>	690	690	291.2	72.8	4	4	1164.80	0.59
<i>S2.F</i>	830	830	291.2	72.8	4	4	1164.80	0.71
<i>S3.F</i>	845	845	298.48	72.8	4.1	4	1193.92	0.71
<b>PROMEDIO S</b>			<b>293.63</b>				<b>1174.51</b>	<b>0.67</b>
<i>BTT1.F</i>	731	868	291.2	72.8	4	4	1164.80	0.63
<i>BTT2.F</i>	788	943	291.2	72.8	4	4	1164.80	0.68
<i>BTT3.F</i>	803	961	291.2	72.8	4	4	1164.80	0.69
<b>PROMEDIO BTT</b>			<b>291.20</b>				<b>1164.80</b>	<b>0.66</b>

**RESULTADO ENSAYO FLEXIÓN MADERA PLÁSTICA**

NOMBRE	HUMEDAD	FUERZA (KN)	TENSIÓN (Mpa)	DESPLAZAMIENTO (mm)	ESFUERZO (KN/m2)	TIEMPO (seg)
H1.F	1.1%	0.645	9.656	31.49	22.12	757.22
H2.F	1.5%	0.985	11.719	31.50	33.73	757.44
PROMEDIO H	<b>2.0%</b>	<b>0.815</b>	<b>10.687</b>	<b>31.50</b>	<b>18.62</b>	
BT1.F	0.8%	0.499	8.121	22.88	17.58	550.26
BT2.F	0.8%	0.488	7.945	23.75	17.20	517.30
BT3.F	0.6%	0.966	11.794	31.76	34.48	763.78
PROMEDIO BT	<b>0.7%</b>	<b>0.494</b>	<b>8.033</b>	<b>23.31</b>	<b>17.39</b>	
S1.F	0.0%	0.573	8.317	33.56	19.64	807.01
S2.F	0.0%	0.871	10.102	29.76	29.86	715.63
PROMEDIO S	<b>0.0%</b>	<b>0.722</b>	<b>9.209</b>	<b>31.66</b>	<b>24.75</b>	

**DIMENSIONES PARA ENSAYO FLEXIÓN MADERA PLÁSTICA**

NOMBRE	PESO 1 (gr)	PESO 2 (gr)	AREA (cm2)	LARGO (cm)	ANCHO (cm)	ESPESOR (cm)	VOLUMEN (cm3)	DENSIDAD (gr/cm3)
H1.F	892	902	291.60	72.90	4	3.1	903.96	0.987
H2.F	1083	1099	292.00	73.00	4	3.85	1124.20	0.963
PROMEDIO H			<b>291.80</b>				<b>1050.39</b>	<b>0.962</b>
BT1.F	872	879	283.92	72.80	3.9	3	851.76	1.024
BT2.F	900	907	283.92	72.80	3.9	2.95	837.56	1.075
BT3.F	1051	1057	280.28	72.80	3.85	4	1121.12	0.937
PROMEDIO BT			<b>282.71</b>				<b>936.81</b>	<b>1.012</b>
S1.F	888	888	292.00	73.00	4	3.15	919.80	0.965
S2.F	1062	1062	291.60	72.90	4	4	1166.40	0.910
PROMEDIO S			<b>291.80</b>				<b>968.31</b>	<b>0.961</b>

## RESULTADOS DE COMPRESIÓN

### RESULTADO ENSAYO COMPRESIÓN MADERA NATURAL

NOMBRE	HUMEDAD	FUERZA (KN)	TENSIÓN (Mpa)	DEFORMACIÓN (%)	DESPLAZAMIENTO (mm)	ESFUERZO (KN/m2)	TIEMPO (seg)
<i>AL1.C</i>	-2.7%	59.00	36.88	2.04	3.06	9530.48	16.71
AL2.C	-3.4%	70.42	42.94	1.55	2.32	11374.98	12.88
AL3.C	-3.1%	72.07	42.87	2.09	3.16	11641.27	17.2
PROMEDIO AL	<b>-3.0%</b>	<b>71.25</b>	<b>40.90</b>	<b>1.82</b>	<b>2.74</b>	<b>11508.13</b>	
H1.C	36.1%	45.68	27.86	4.64	7.00	7424.19	37.29
<i>H2.C</i>	40.6%	56.17	33.41	1.22	1.84	9072.77	10.42
H3.C	44.4%	46.88	27.89	1.58	2.39	7572.61	13.2
PROMEDIO H	<b>40.4%</b>	<b>46.28</b>	<b>27.87</b>	<b>3.11</b>	<b>4.70</b>	<b>7498.40</b>	
<i>BT1.C</i>	16.9%	57.83	36.14	1.71	2.58	9574.49	14.21
BT2.C	10.6%	48.32	29.47	1.69	2.55	7805.57	13.99
BT3.C	21.0%	44.11	26.89	1.16	1.76	7124.25	9.89
PROMEDIO BT	<b>16.2%</b>	<b>46.22</b>	<b>28.18</b>	<b>1.43</b>	<b>2.15</b>	<b>7464.91</b>	
S1.C	-0.8%	63.61	37.84	1.79	2.70	10275.38	14.87
S2.C	-0.7%	59.90	36.52	1.18	1.78	9675.43	10.04
<i>S3.C</i>	-0.9%	70.68	42.05	1.69	2.55	11416.41	14.06
PROMEDIO S	<b>-0.8%</b>	<b>61.76</b>	<b>37.18</b>	<b>1.48</b>	<b>2.24</b>	<b>9975.41</b>	
<i>AS1.C</i>	42.5%	46.93	28.62	1.21	1.83	7580.36	10.41
AS2.C	42.5%	55.56	33.05	1.17	1.76	8974.38	9.96
AS3.C	32.2%	57.34	31.11	1.48	2.23	9318.56	12.36
PROMEDIO AS	<b>39.1%</b>	<b>56.45</b>	<b>32.08</b>	<b>1.32</b>	<b>2.00</b>	<b>9146.47</b>	
<i>BTT1.C</i>	16.6%	53.55	32.65	1.55	2.36	8948.14	13.03
BTT2.C	16.6%	49.98	3.24	1.53	2.33	8196.43	12.83
BTT3.C	16.9%	47.91	29.21	5.74	8.66	7833.90	45.99
PROMEDIO BTT	<b>16.7%</b>	<b>48.95</b>	<b>16.23</b>	<b>3.63</b>	<b>5.50</b>	<b>8015.16</b>	

**DIMENSIONES PARA ENSAYO COMPRESIÓN MADERA NATURAL**

NOMBRE	PESO 1 (gr)	PESO 2 (gr)	AREA (cm2)	LARGO (cm)	ANCHO (cm)		ESPESOR (cm)		VOLUMEN (cm3)	DENSIDAD (gr/cm3)
	AL1.C	148	144.17	61.91	15.1	4.1	4.1	4	4	247.64
AL2.C	165	159.65	61.91	15.1	4.1	4.1	4	4	247.64	0.67
AL3.C	162	157.15	61.91	15.1	4.1	4.1	4.1	4.1	253.83	0.64
<b>PROMEDIO AL</b>			<b>61.91</b>						<b>249.70</b>	<b>0.63</b>
H1.C	177	277	61.53	15.1	4.1	4.05	4	4	246.13	0.72
H2.C	165	277.98	61.91	15.1	4.1	4.1	4	4.1	250.74	0.66
H3.C	155	279	61.91	15.1	4.1	4.1	4	4.1	250.74	0.62
<b>PROMEDIO H</b>			<b>61.78</b>						<b>249.20</b>	<b>0.67</b>
BT1.C	166	199.84	60.40	15.1	4	4	4.05	4	243.11	0.68
BT2.C	171	191.19	61.91	15.1	4.1	4.1	4	4	247.64	0.69
BT3.C	153	193.7	61.91	15.1	4.1	4.1	4	4	247.64	0.62
<b>PROMEDIO BT</b>			<b>61.41</b>						<b>246.13</b>	<b>0.66</b>
S1.C	163	161.74	61.91	15.1	4.1	4.1	4.05	4.05	250.74	0.65
S2.C	156	154.86	61.91	15.1	4.1	4.1	4	4	247.64	0.63
S3.C	169	167.57	61.91	15.1	4.1	4.1	4	4.05	249.19	0.68
<b>PROMEDIO S</b>			<b>61.91</b>						<b>249.19</b>	<b>0.65</b>
AS1.C	154	267.8	61.91	15.1	4.1	4.1	4	4	247.64	0.62
AS2.C	178	262.54	61.91	15.1	4.1	4.1	4	4.05	249.19	0.71
AS3.C	181	267.01	61.53	15.1	4.1	4.05	4	4.05	247.67	0.73
<b>PROMEDIO AS</b>			<b>61.78</b>						<b>248.17</b>	<b>0.69</b>
BTT1.C	163	195.54	59.84	15.15	3.9	4	4.05	4.05	242.36	0.67
BTT2.C	164	197.33	60.98	15.15	4	4.05	4	4	243.92	0.67
BTT3.C	166	198.22	61.16	15.1	4.05	4.05	4	4	244.62	0.68
<b>PROMEDIO BTT</b>			<b>60.66</b>						<b>243.63</b>	<b>0.67</b>

**RESULTADO ENSAYO COMPRESIÓN MADERA PLÁSTICA**

NOMBRE	HUMEDAD	FUERZA (KN)	TENSIÓN (Mpa)	DEFORMACIÓN (%)	DESPLAZAMIENTO (mm)	TIEMPO (seg)	ESFUERZO (KN/m2)
AL1.P	0.1%	24.64	20.53	8.80	13.55	71.42	4830.01
AL2.P	0.4%	23.05	16.54	8.08	12.36	65.25	3663.21
AL3.P	0.4%	5.22	19.11	9.78	15.06	73.35	850.56
PROMEDIO AL	0.3%	23.85	18.54	8.44	12.95		4246.61
H1.P	0.7%	23.99	14.63	9.14	13.98	73.73	3846.10
H2.P	0.6%	20.97	17.64	7.05	10.79	57.04	3321.24
H3.P	1.0%	22.15	17.43	7.23	11.06	58.48	4677.92
PROMEDIO H	0.8%	21.56	17.53	7.14	10.92		3999.58
BT1.P	0.1%	30.98	17.57	10.10	15.45	81.37	4673.31
BT2.P	0.5%	30.95	17.97	11.51	17.60	92.59	4882.57
BT3.P	0.4%	31.65	17.94	12.05	18.43	96.92	4925.99
PROMEDIO BT	0.3%	30.96	17.77	10.80	16.53		4777.94
S1.P	0.5%	31.86	17.66	12.58	19.25	101.18	5069.88
S2.P	0.3%	30.50	16.51	10.75	16.44	86.55	4804.09
S3.P	0.1%	31.79	18.46	12.18	18.63	97.95	5037.26
PROMEDIO S	0.3%	31.82	18.06	12.38	18.94		5053.57
AS1.P	4.2%	28.65	17.04	10.94	16.73	88.08	4567.24
AS2.P	4.2%	28.95	17.22	9.45	14.47	76.25	4532.43
AS3.P	2.5%	29.12	17.32	10.77	16.47	86.72	4585.40
PROMEDIO AS	3.6%	29.03	17.27	10.11	15.47		4558.91

**DIMENSIONES PARA ENSAYO COMPRESIÓN MADERA PLÁSTICA**

NOMBRE	PESO 1 (gr)	PESO 2 (gr)	AREA (cm <sup>2</sup> )	LARGO (cm)	ANCHO (cm)		ESPESOR (cm)		VOLUMEN (cm <sup>3</sup> )	DENSIDAD (gr/cm <sup>3</sup> )
AL1.P	200	200.16	51.01	15.4	3.5 5	3.0 75	4	4	204.05	0.980
AL2.P	199	199.82	62.94	15.35	4.1 75	4.0 25	3	3.45	202.97	0.980
AL3.P	201	201.86	61.41	15.4	3.9	4.0 75	3.1	3.6	205.72	0.977
<b>PROMEDIO AL</b>			<b>17.64</b>						<b>204.24</b>	<b>0.979</b>
H1.P	190	191.31	62.37	15.4	4	4.1	3	3	187.11	1.015
H2.P	186	187.2	63.14	15.4	4.1	4.1	2.85	2.9	181.53	1.025
H3.P	190	191.83	47.36	15.4	3.1	3.0 5	4	4.1	191.79	0.991
<b>PROMEDIO H</b>			<b>22.37</b>						<b>186.81</b>	<b>1.010</b>
BT1.P	245	245.36	66.28	15.325	4.3 5	4.3	4	4	265.12	0.924
BT2.P	245	246.11	63.39	15.275	4.1 5	4.1 5	4.1	4.15	261.49	0.937
BT3.P	246	247.1	64.26	15.3	4.2	4.2	4.2	4.2	269.89	0.912
<b>PROMEDIO BT</b>			<b>31.19</b>						<b>265.50</b>	<b>0.924</b>
S1.P	247	248.28	62.83	15.325	4.1	4.1	4.35	4.35	273.32	0.904
S2.P	247	247.64	63.50	15.3	4.1 5	4.1 5	4.35	4.35	276.20	0.894
S3.P	248	248.13	63.11	15.3	4.1	4.1 5	4.2	4.25	266.65	0.930
<b>PROMEDIO S</b>			<b>31.38</b>						<b>272.06</b>	<b>0.909</b>
AS1.P	233	243.28	62.73	15.3	4.1	4.1	4.15	4.15	260.33	0.895
AS2.P	235	240.96	63.88	15.3	4.1 5	4.2	4.1	4	258.70	0.908
AS3.P	235	243.86	63.50	15.3	4.1 5	4.1 5	4.2	4.15	265.09	0.887
<b>PROMEDIO AS</b>			<b>28.91</b>						<b>261.375</b>	<b>0.897</b>

**RESULTADO DE CORTE**

**RESULTADO ENSAYO CORTE MADERA NATURAL**

NOMBRE	HUMEDAD	FUERZA (KN)	TENSIÓN (Mpa)	DESPLAZAMIENTO (mm)	ESFUERZO (KN/m2)	TIEMPO (seg)
<b>AL1.KN</b>	<b>-3%</b>	<b>19.34</b>	<b>11.50</b>	<b>2.03</b>	<b>11505.06</b>	<b>203.99</b>
AL2.KN	-3%	24.23	15.15	2.35	15145.75	236.06
AL3.KN	-3%	24.13	15.47	3.04	15468.27	305.01
<b>PROMEDIO AL</b>	<b>-3%</b>	<b>24.18</b>	<b>15.31</b>	<b>2.70</b>	<b>15307.00</b>	
H1.KN	36%	18.07	1.02	2.85	11018.60	286.09
<b>H2.KN</b>	<b>41%</b>	<b>22.76</b>	<b>14.23</b>	<b>2.89</b>	<b>14231.15</b>	<b>290.16</b>
H3.KN	44%	19.77	12.05	2.87	12052.13	287.70
<b>PROMEDIO H</b>	<b>40%</b>	<b>18.92</b>	<b>11.54</b>	<b>2.86</b>	<b>11535.37</b>	
BT1.KN	17%	20.57	13.19	2.49	13185.77	249.35
BT2.KN	11%	20.50	12.50	2.33	12497.20	233.66
<b>BT3.KN</b>	<b>21%</b>	<b>21.72</b>	<b>13.58</b>	<b>2.49</b>	<b>13582.68</b>	<b>249.95</b>
<b>PROMEDIO BT</b>	<b>16%</b>	<b>20.53</b>	<b>12.84</b>	<b>2.41</b>	<b>12841.48</b>	
<b>S1.KN</b>	<b>-1%</b>	<b>14.41</b>	<b>3.16</b>	<b>3.16</b>	<b>8784.94</b>	<b>317.10</b>
S2.KN	-1%	24.92	15.00	2.43	15006.69	243.37
S3.KN	-1%	24.31	14.46	2.98	14462.64	298.54
<b>PROMEDIO S</b>	<b>-1%</b>	<b>24.62</b>	<b>14.73</b>	<b>2.70</b>	<b>14734.66</b>	
AS1.KN	42%	20.07	12.54	2.84	12090.42	285.25
<b>AS2.KN</b>	<b>42%</b>	<b>15.66</b>	<b>9.44</b>	<b>2.72</b>	<b>9435.06</b>	<b>272.58</b>
AS3.KN	32%	18.20	11.38	2.77	11379.68	278.07
<b>PROMEDIO AS</b>	<b>39%</b>	<b>19.13</b>	<b>11.96</b>	<b>2.81</b>	<b>11735.05</b>	
BTT1.KN	17%	21.31	13.33	3.03	13329.39	304.02
BTT2.KN	17%	20.92	12.29	3.04	12297.56	304.48
<b>BTT3.KN</b>	<b>17%</b>	<b>24.89</b>	<b>15.57</b>	<b>3.00</b>	<b>15567.73</b>	<b>300.53</b>
<b>PROMEDIO BTT</b>	<b>17%</b>	<b>21.12</b>	<b>12.81</b>	<b>3.04</b>	<b>12813.48</b>	

**DIMENSIONES PARA ENSAYO CORTE MADERA NATURAL**

NOMBRE	PESO 1 (gr)	PESO 2 (gr)	AREA (cm2)	ANCHO A (cm)	ANCHO B (cm)	ANCHO C (cm)	ANCHO D (cm)	ANCHO E (cm)	VOLUMEN (cm3)	DENSIDAD (gr/cm3)
AL1.KN	49.75	48.46	16.81	4.1	4.1	4.9	2.5	4.1	77.12	0.65
AL2.KN	48.8	47.22	16.00	4	4	4.9	2.5	4.1	74.60	0.65
AL3.KN	48.77	47.31	15.60	3.9	4	4.9	2.5	4.1	73.96	0.66
<b>PROMEDIO AL</b>			<b>22.57</b>						<b>75.23</b>	<b>0.65</b>
H1.KN	84.8	132.71	16.40	4	4.1	5	2.5	4.15	78.31	1.08
H2.KN	84.9	143.03	15.99	3.9	4.1	4.9	2.5	4.15	76.61	1.11
H3.KN	84.46	152.03	16.40	4	4.1	4.9	2.55	4.15	77.47	1.09
<b>PROMEDIO H</b>			<b>20.20</b>						<b>77.46</b>	<b>1.09</b>
BT1.KN	56.58	68.11	15.60	3.9	4	5	2.45	4.1	74.74	0.76
BT2.KN	57.15	63.90	16.40	4	4.1	5	2.5	4.15	78.31	0.73
BT3.KN	60.46	76.54	15.99	3.9	4.1	4.9	2.55	4.1	76.01	0.80
<b>PROMEDIO BT</b>			<b>20.93</b>						<b>76.35</b>	<b>0.76</b>
S1.KN	48.47	48.10	16.40	4.1	4	5.05	2.5	4.1	76.74	0.63
S2.KN	51.74	51.36	16.61	4.05	4.1	5	2.5	4.1	77.82	0.66
S3.KN	49.02	48.61	16.81	4.1	4.1	5.1	2.45	4.05	78.13	0.63
<b>PROMEDIO S</b>			<b>21.21</b>						<b>77.56</b>	<b>0.64</b>
AS1.KN	84.56	147.05	16.60	4	4.15	5	2.5	4.1	78.44	1.08
AS2.KN	83.63	145.43	16.60	4	4.15	4.9	2.5	4.15	78.23	1.07
AS3.KN	85.64	126.31	15.99	3.9	4.1	4.9	2.5	4.1	75.81	1.13
<b>PROMEDIO AS</b>			<b>17.98</b>						<b>77.49</b>	<b>1.09</b>
BTT1.KN	56.05	67.24	15.99	3.9	4.1	4.9	2.5	4.1	75.81	0.74
BTT2.KN	56.19	67.41	17.02	4.15	4.1	5	2.55	4.15	79.50	0.71
BTT3.KN	60.28	72.53	15.99	3.9	4.1	4.9	2.55	4.15	76.81	0.78
<b>PROMEDIO BTT</b>			<b>22.38</b>						<b>77.37</b>	<b>0.74</b>

**RESULTADO ENSAYO CORTE MADERA PLÁSTICA**

NOMBRE	HUMEDAD	FUERZA (KN)	TENSIÓN (Mpa)	DESPLAZAMIENTO (mm)	ESFUERZO (KN/m2)	TIEMPO (seg)
AL1.KP	0.2%	12.3	7.11	6.22	7884.62	623.23
AL2.KP	0.3%	6.5	3.95	2.87	3963.41	287.49
AL3.KP	0.3%	5.5	3.22	2.77	3273.81	278.42
PROMEDIO AL	<b>0.2%</b>	<b>6.01</b>	<b>3.58</b>	<b>2.82</b>	<b>3618.61</b>	
H1.KN	1.8%	10.8	6.56	6.56	6428.57	656.50
H2.KN	1.9%	6.3	3.85	2.46	3750.00	246.57
H3.KN	2.1%	11.6	7.27	4.75	5073.06	475.44
PROMEDIO H	<b>1.9%</b>	<b>11.19</b>	<b>6.92</b>	<b>5.65</b>	<b>3717.15</b>	
BT1.KN	0.5%	7.6	4.64	2.56	4523.81	256.91
BT2.KN	0.6%	7.2	4.43	2.46	4285.71	246.79
BT3.KN	0.5%	7.9	4.73	2.74	4702.38	275.00
PROMEDIO BT	<b>0.5%</b>	<b>7.78</b>	<b>4.69</b>	<b>2.65</b>	<b>4613.10</b>	
S1.KN	0.2%	7.0	4.15	2.54	4069.77	254.96
S2.KN	0.3%	7.5	4.61	1.79	4464.29	179.38
S3.KN	0.2%	8.6	5.13	2.60	5119.05	260.86
PROMEDIO S	<b>0.2%</b>	<b>7.26</b>	<b>4.38</b>	<b>2.16</b>	<b>4267.03</b>	
AS1.KN	2.0%	8.6	5.31	2.94	5243.90	295.04
AS2.KN	1.5%	8.4	5.21	2.77	5000.00	277.61
AS3.KN	1.0%	8.9	5.37	3.01	5297.62	302.05
PROMEDIO AS	<b>1.5%</b>	<b>8.52</b>	<b>5.26</b>	<b>2.86</b>	<b>5121.95</b>	

**DIMENSIONES PARA ENSAYO CORTE MADERA PLÁSTICA**

NOMBRE	PESO 1 (gr)	PESO 2 (gr)	AREA (cm2)	ANCHO A (cm)	ANCHO B (cm)	ANCHO C (cm)	ANCHO D (cm)	ANCHO E (cm)	VOLUMEN (cm3)	DENSIDAD (gr/cm3)
AL1.KP	70	70	15.6	3.9	4	4.9	2.6	4.2	75.92	0.92
AL2.KP	69	69	16.4	4	4.1	5	2.4	4	75.44	0.91
AL3.KP	72	72	16.8	4	4.2	5	2.6	4.2	81.48	0.88
PROMEDIO AL			<b>16.3</b>						<b>77.61</b>	<b>0.91</b>
H1.KN	76	75	16.8	4	4.2	5.1	2.6	4	79.21	0.96
H2.KN	70	69	16.8	4	4.2	5.05	2.5	4	78.23	0.90
H3.KN	70	69	16.4	3.9	4.2	5	2.6	4.2	80.81	0.87
PROMEDIO H			<b>16.7</b>				<b>4.15</b>		<b>79.42</b>	<b>0.91</b>
BT1.KN	76	76	16.8	4	4.2	5	2.6	4.2	81.48	0.94
BT2.KN	76	76	16.8	4	4.2	4.9	2.6	4.2	80.39	0.95
BT3.KN	76	76	16.8	4	4.2	4.9	2.6	4.1	78.71	0.97
PROMEDIO BT			<b>16.8</b>						<b>80.19</b>	<b>0.95</b>
S1.KN	70	70	17.2	4.1	4.2	5	2.4	4	77.95	0.90
S2.KN	76	76	16.8	4	4.2	5	2.6	4.2	81.48	0.93
S3.KN	76	76	16.8	4	4.2	5	2.6	4.2	81.48	0.93
PROMEDIO S			<b>16.9</b>						<b>80.30</b>	<b>0.92</b>
AS1.KN	76	74	16.4	3.9	4.2	4.9	2.5	4.2	79.30	0.95
AS2.KN	77	76	16.8	4	4.2	5	2.5	4.2	81.06	0.95
AS3.KN	77	76	16.8	4	4.2	5	2.5	4.2	81.06	0.95
PROMEDIO AS			<b>16.7</b>						<b>80.47</b>	<b>0.95</b>

## **ANEXO 2**

### ***Análisis de precios unitarios (APUs)***

### Análisis de Precios Unitarios

**Código:** 501BJW  
**Descrip.:** Sum, Tablon 230x19x4mm, Madera Teka  
**Unidad:** u

<b>COSTOS DIRECTOS</b>
------------------------

Equipo y herramienta							
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio	Rendim.	Total	%
Subtotal de Equipo:						0.00	0.00%

Materiales							
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio	Rendim.	Total	%
200_02	Tablon de Madera Teka 230x19x4 mm	u	1.00000	24.50		24.50	100.00%
Subtotal de Materiales:						24.50	100.00%

Transporte							
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa/U	Distancia	Total	%
Subtotal de Transporte:						0.00	0.00%

Mano de Obra							
Código	Descripción	Número	S.R.H.	Rendim.	Total	%	
Subtotal de Mano de Obra:						0.00	0.00%

Costo Directo Total: 24.50

<b>COSTOS INDIRECTOS</b>
--------------------------

0 % 0.00

<b>Precio Unitario Total .....</b>	<b>24.50</b>
------------------------------------	--------------

**Son:** VEINTE Y CUATRO CON 50/100 DÓLARES DE LOS ESTADOS UNIDOS DE AMÉRICA

### Análisis de Precios Unitarios

**Código:** 502AWE  
**Descrip.:** \_Limpieza de Madera  
**Unidad:** m2

<b>COSTOS DIRECTOS</b>
------------------------

Equipo y herramienta							
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio	Rendim.	Total	%
109007	Equipo menor	Hora	1.00000	0.20	0.60000	0.12	2.35%
Subtotal de Equipo:						0.12	2.35%

Materiales							
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio	Rendim.	Total	%
Subtotal de Materiales:						0.00	0.00%

Transporte							
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa/U	Distancia	Total	%
Subtotal de Transporte:						0.00	0.00%

Mano de Obra							
Código	Descripción	Número	S.R.H.	Rendim.	Total	%	
401001	Peón	1.00	4.14	0.60000	2.48	48.53%	
402003	Carpintero	1.00	4.19	0.60000	2.51	49.12%	
Subtotal de Mano de Obra:					4.99	97.65%	

Costo Directo Total: 5.11

<b>COSTOS INDIRECTOS</b>
--------------------------

0 % 0.00

<b>Precio Unitario Total .....</b>	<b>5.11</b>
------------------------------------	-------------

**Son:** CINCO CON 11/100 DÓLARES DE LOS ESTADOS UNIDOS DE AMÉRICA

### Análisis de Precios Unitarios

**Código:** 501BK0  
**Descrip.:** \_Colocacion Madera  
**Unidad:** m2

<b>COSTOS DIRECTOS</b>
------------------------

Equipo y herramienta							
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio	Rendim.	Total	%
109007	Equipo menor	Hora	1.00000	0.20	0.66000	0.13	1.75%
Subtotal de Equipo:						0.13	1.75%

Materiales							
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio	Rendim.	Total	%
224106	Clavos de 2" a 4"	Kg	1.00000	1.80		1.80	24.23%
Subtotal de Materiales:						1.80	24.23%

Transporte							
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa/U	Distancia	Total	%
Subtotal de Transporte:						0.00	0.00%

Mano de Obra							
Código	Descripción	Número	S.R.H.	Rendim.	Total	%	
401001	Peón	1.00	4.14	0.66000	2.73	36.74%	
402003	Carpintero	1.00	4.19	0.66000	2.77	37.28%	
Subtotal de Mano de Obra:						5.50	74.02%

Costo Directo Total: 7.43

<b>COSTOS INDIRECTOS</b>
--------------------------

0 % 0.00

<b>Precio Unitario Total .....</b>	<b>7.43</b>
------------------------------------	-------------

**Son:** SIETE CON 43/100 DÓLARES DE LOS ESTADOS UNIDOS DE AMÉRICA

### Análisis de Precios Unitarios

**Código:** 501BJG  
**Descrip.:** Transporte de materiales  
**Unidad:** u

<b>COSTOS DIRECTOS</b>
------------------------

Equipo y herramienta							
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio	Rendim.	Total	%
109007	Equipo menor	Hora	1.00000	0.20	1.00000	0.20	0.23%
Subtotal de Equipo:						0.20	0.23%

Materiales							
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio	Rendim.	Total	%
Subtotal de Materiales:						0.00	0.00%

Transporte							
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa/U	Distancia	Total	%
300_01	Transporte de Materiales	Km	1.00000	80.00	1.00	80.00	90.42%
Subtotal de Transporte:						80.00	90.42%

Mano de Obra							
Código	Descripción	Número	S.R.H.	Rendim.	Total	%	
401001	Peón	2.00	4.14	1.00000	8.28	9.36%	
Subtotal de Mano de Obra:						8.28	9.36%

Costo Directo Total: 88.48

<b>COSTOS INDIRECTOS</b>
--------------------------

0 % 0.00

<b>Precio Unitario Total .....</b>	<b>88.48</b>
------------------------------------	--------------

**Son:** OCHENTA Y OCHO CON 48/100 DÓLARES DE LOS ESTADOS UNIDOS DE AMÉRICA

### Análisis de Precios Unitarios

**Código:** 502AWF  
**Descrip.:** \_Lacado de Madera TEKA  
**Unidad:** m2

<b>COSTOS DIRECTOS</b>
------------------------

Equipo y herramienta							
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio	Rendim.	Total	%
109007	Equipo menor	Hora	1.00000	0.20	0.60000	0.12	0.56%
100032	Pulidora de madera	Hora	1.00000	4.60	0.60000	2.76	12.83%
Subtotal de Equipo:						2.88	13.39%

Materiales							
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio		Total	%
200881	Sellador madera Altos Solidos	galon	0.15000	22.20		3.33	15.48%
200882	thinner comercial (diluyente laca)	galon	0.15000	18.25		<b>2.74</b>	12.74%
200883	Lija de agua N80	u	0.32000	0.40		<b>0.13</b>	0.60%
200884	Laca	galon	0.15000	42.00		<b>6.30</b>	29.29%
200885	Pegamento parquet	galon	0.12000	9.50		<b>1.14</b>	5.30%
Subtotal de Materiales:						13.64	63.41%

Transporte							
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa/U	Distancia	Total	%
Subtotal de Transporte:						0.00	0.00%

Mano de Obra							
Código	Descripción		Número	S.R.H.	Rendim.	Total	%
401001	Peón		1.00	4.14	0.60000	2.48	11.53%
402003	Carpintero		1.00	4.19	0.60000	2.51	11.67%
Subtotal de Mano de Obra:						4.99	23.20%

Costo Directo Total: 21.51

<b>COSTOS INDIRECTOS</b>
--------------------------

0 % 0.00

<b>Precio Unitario Total .....</b>	<b>21.51</b>
------------------------------------	--------------

**Son:** VEINTE Y UNO CON 51/100 DÓLARES DE LOS ESTADOS UNIDOS DE AMÉRICA

### Análisis de Precios Unitarios

**Código:** 501BJX  
**Descrip.:** Sum, Tablon 200x22x4mm, Madera Plastica "TreePlastic"  
**Unidad:** u

<b>COSTOS DIRECTOS</b>
------------------------

Equipo y herramienta							
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio	Rendim.	Total	%
Subtotal de Equipo:						0.00	0.00%

Materiales							
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio	Rendim.	Total	%
2AD122	Tablon Madera Plastica 200x22x4 mm	u	1.00000	37.39		37.39	100.00%
Subtotal de Materiales:						37.39	100.00%

Transporte							
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa/U	Distancia	Total	%
Subtotal de Transporte:						0.00	0.00%

Mano de Obra							
Código	Descripción	Número	S.R.H.	Rendim.	Total	%	
Subtotal de Mano de Obra:						0.00	0.00%

Costo Directo Total: 37.39

<b>COSTOS INDIRECTOS</b>
--------------------------

0 % 0.00

<b>Precio Unitario Total .....</b>	<b>37.39</b>
------------------------------------	--------------

**Son:** TREINTA Y SIETE CON 39/100 DÓLARES DE LOS ESTADOS UNIDOS DE AMÉRICA

### Análisis de Precios Unitarios

**Código:** 501BK0  
**Descrip.:** \_Colocacion Madera  
**Unidad:** m2

<b>COSTOS DIRECTOS</b>
------------------------

Equipo y herramienta							
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio	Rendim.	Total	%
109007	Equipo menor	Hora	1.00000	0.20	0.66000	0.13	1.75%
Subtotal de Equipo:						0.13	1.75%

Materiales							
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio	Rendim.	Total	%
224106	Clavos de 2" a 4"	Kg	1.00000	1.80		1.80	24.23%
Subtotal de Materiales:						1.80	24.23%

Transporte							
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa/U	Distancia	Total	%
Subtotal de Transporte:						0.00	0.00%

Mano de Obra							
Código	Descripción	Número	S.R.H.	Rendim.	Total	%	
401001	Peón	1.00	4.14	0.66000	2.73	36.74%	
402003	Carpintero	1.00	4.19	0.66000	2.77	37.28%	
Subtotal de Mano de Obra:						5.50	74.02%

Costo Directo Total: 7.43

<b>COSTOS INDIRECTOS</b>
--------------------------

0 % 0.00

<b>Precio Unitario Total .....</b>	<b>7.43</b>
------------------------------------	-------------

**Son:** SIETE CON 43/100 DÓLARES DE LOS ESTADOS UNIDOS DE AMÉRICA

### Análisis de Precios Unitarios

**Código:** 502AWG  
**Descrip.:** \_Corte de madera  
**Unidad:** m

<b>COSTOS DIRECTOS</b>
------------------------

Equipo y herramienta							
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio	Rendim.	Total	%
117024	Cortadora de piso	Hora	1.00000	4.50	0.08800	0.40	35.09%
Subtotal de Equipo:						0.40	35.09%

Materiales							
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio	Rendim.	Total	%
Subtotal de Materiales:						0.00	0.00%

Transporte							
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa/U	Distancia	Total	%
Subtotal de Transporte:						0.00	0.00%

Mano de Obra							
Código	Descripción	Número	S.R.H.	Rendim.	Total	%	
402009	Operador de equipo liviano	1.00	4.19	0.08800	0.37	32.46%	
402003	Carpintero	1.00	4.19	0.08800	0.37	32.46%	
Subtotal de Mano de Obra:						0.74	64.91%

Costo Directo Total: 1.14

<b>COSTOS INDIRECTOS</b>
--------------------------

0 % 0.00

<b>Precio Unitario Total .....</b>	<b>1.14</b>
------------------------------------	-------------

**Son:** UNO CON 14/100 DÓLARES DE LOS ESTADOS UNIDOS DE AMÉRICA

### Análisis de Precios Unitarios

**Código:** 501BJG  
**Descrip.:** Transporte de materiales  
**Unidad:** u

<b>COSTOS DIRECTOS</b>
------------------------

<b>Equipo y herramienta</b>							
-----------------------------	--	--	--	--	--	--	--

Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio	Rendim.	Total	%
109007	Equipo menor	Hora	1.00000	0.20	1.00000	0.20	0.23%
Subtotal de Equipo:						0.20	0.23%

<b>Materiales</b>							
-------------------	--	--	--	--	--	--	--

Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio	Rendim.	Total	%
Subtotal de Materiales:						0.00	0.00%

<b>Transporte</b>							
-------------------	--	--	--	--	--	--	--

Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa/U	Distancia	Total	%
300_01	Transporte de Materiales	Km	1.00000	80.00	1.00	80.00	90.42%
Subtotal de Transporte:						80.00	90.42%

<b>Mano de Obra</b>							
---------------------	--	--	--	--	--	--	--

Código	Descripción	Número	S.R.H.	Rendim.	Total	%
401001	Peón	2.00	4.14	1.00000	8.28	9.36%
Subtotal de Mano de Obra:					8.28	9.36%

Costo Directo Total: 88.48

<b>COSTOS INDIRECTOS</b>
--------------------------

0 % 0.00

<b>Precio Unitario Total .....</b>	<b>88.48</b>
------------------------------------	--------------

**Son:** OCHENTA Y OCHO CON 48/100 DÓLARES DE LOS ESTADOS UNIDOS DE AMÉRICA

### Análisis de Precios Unitarios

**Código:** 501BJY  
**Descrip.:** Sum, Tablon 200x9x4mm, Madera Plastica "Botellas de Amor"  
**Unidad:** u

<b>COSTOS DIRECTOS</b>
------------------------

Equipo y herramienta							
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio	Rendim.	Total	%
Subtotal de Equipo:						0.00	0.00%

Materiales							
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio	Rendim.	Total	%
200_03	Tablon Madera Plastica 200x9x4 mm	u	1.00000	8.69		8.69	100.00%
Subtotal de Materiales:						8.69	100.00%

Transporte							
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa/U	Distancia	Total	%
Subtotal de Transporte:						0.00	0.00%

Mano de Obra							
Código	Descripción	Número	S.R.H.	Rendim.	Total	%	
Subtotal de Mano de Obra:						0.00	0.00%

Costo Directo Total: 8.69

<b>COSTOS INDIRECTOS</b>
--------------------------

0 % 0.00

<b>Precio Unitario Total .....</b>	<b>8.69</b>
------------------------------------	-------------

**Son:** OCHO CON 69/100 DÓLARES DE LOS ESTADOS UNIDOS DE AMÉRICA

### Análisis de Precios Unitarios

**Código:** 501BK0  
**Descrip.:** \_Colocacion Madera  
**Unidad:** m2

<b>COSTOS DIRECTOS</b>
------------------------

Equipo y herramienta							
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio	Rendim.	Total	%
109007	Equipo menor	Hora	1.00000	0.20	0.66000	0.13	1.75%
Subtotal de Equipo:						0.13	1.75%

Materiales							
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio	Rendim.	Total	%
224106	Clavos de 2" a 4"	Kg	1.00000	1.80		1.80	24.23%
Subtotal de Materiales:						1.80	24.23%

Transporte							
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa/U	Distancia	Total	%
Subtotal de Transporte:						0.00	0.00%

Mano de Obra							
Código	Descripción	Número	S.R.H.	Rendim.	Total	%	
401001	Peón	1.00	4.14	0.66000	2.73	36.74%	
402003	Carpintero	1.00	4.19	0.66000	2.77	37.28%	
Subtotal de Mano de Obra:						5.50	74.02%

Costo Directo Total: 7.43

<b>COSTOS INDIRECTOS</b>
--------------------------

0 % 0.00

<b>Precio Unitario Total .....</b>	<b>7.43</b>
------------------------------------	-------------

**Son:** SIETE CON 43/100 DÓLARES DE LOS ESTADOS UNIDOS DE AMÉRICA

### Análisis de Precios Unitarios

**Código:** 502AWG  
**Descrip.:** \_Corte de madera  
**Unidad:** m

<b>COSTOS DIRECTOS</b>
------------------------

Equipo y herramienta							
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio	Rendim.	Total	%
117024	Cortadora de piso	Hora	1.00000	4.50	0.08800	0.40	35.09%
Subtotal de Equipo:						0.40	35.09%

Materiales							
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio	Rendim.	Total	%
Subtotal de Materiales:						0.00	0.00%

Transporte							
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa/U	Distancia	Total	%
Subtotal de Transporte:						0.00	0.00%

Mano de Obra							
Código	Descripción	Número	S.R.H.	Rendim.	Total	%	
402009	Operador de equipo liviano	1.00	4.19	0.08800	0.37	32.46%	
402003	Carpintero	1.00	4.19	0.08800	0.37	32.46%	
Subtotal de Mano de Obra:						0.74	64.91%

Costo Directo Total: 1.14

<b>COSTOS INDIRECTOS</b>
--------------------------

0 % 0.00

<b>Precio Unitario Total .....</b>	<b>1.14</b>
------------------------------------	-------------

**Son:** UNO CON 14/100 DÓLARES DE LOS ESTADOS UNIDOS DE AMÉRICA

### Análisis de Precios Unitarios

**Código:** 501BJG  
**Descrip.:** Transporte de materiales  
**Unidad:** u

<b>COSTOS DIRECTOS</b>
------------------------

Equipo y herramienta							
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio	Rendim.	Total	%
109007	Equipo menor	Hora	1.00000	0.20	1.00000	0.20	0.23%
Subtotal de Equipo:						0.20	0.23%

Materiales							
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio	Rendim.	Total	%
Subtotal de Materiales:						0.00	0.00%

Transporte							
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa/U	Distancia	Total	%
300_01	Transporte de Materiales	Km	1.00000	80.00	1.00	80.00	90.42%
Subtotal de Transporte:						80.00	90.42%

Mano de Obra							
Código	Descripción	Número	S.R.H.	Rendim.	Total	%	
401001	Peón	2.00	4.14	1.00000	8.28	9.36%	
Subtotal de Mano de Obra:						8.28	9.36%

Costo Directo Total: 88.48

<b>COSTOS INDIRECTOS</b>
--------------------------

0 % 0.00

<b>Precio Unitario Total .....</b>	<b>88.48</b>
------------------------------------	--------------

**Son:** OCHENTA Y OCHO CON 48/100 DÓLARES DE LOS ESTADOS UNIDOS DE AMÉRICA