

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**



**TESIS**

**TOMO I**

**“DETERMINACIÓN DE LOS ESFUERZOS ADMISIBLES DE  
LA MADERA PASHACO (ALBIZZIA SP.)”**

**PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL**

**ELABORADO POR**

**CARLOS ALFREDO YANASUPO HENCKE**

**ASESORA**

**MSc. ISABEL MOROMI NAKATA**

**LIMA – PERÚ**

**2024**

© 2024, Universidad Nacional de Ingeniería. Todos los derechos reservados

**“El autor autoriza a la UNI a reproducir la Tesis en su totalidad o en parte,  
con fines estrictamente académicos.”**

Yanasupo Hencke, Carlos Alfredo

[cyanasupoh@gmail.com](mailto:cyanasupoh@gmail.com)

944555928

## **DEDICATORIA**

A mis amados padres, quienes creyeron siempre en mí, dándome ejemplo de superación, humildad y sacrificio, por brindarme su apoyo y dedicación a lo largo de toda mi carrera universitaria. A mi hermano por sus consejos y experiencias transmitidas. A mi esposa que no dejó que perdiera el rumbo, acompañándome a culminar la meta trazada. A mis sobrinos, quienes son realmente mis hermanos menores, y a cada una de las personas que contribuyeron en mi formación personal y profesional.

## **AGRADECIMIENTOS**

A la Facultad de Ingeniería Civil de la UNI, por brindarme la oportunidad de ser un profesional, a los profesores por sus enseñanzas dentro y fuera de las aulas.

A la Mg. Ing. Isabel Moromi Nakata, por sus asesorías, amplio conocimiento en el tema y aportes para la culminación de la presente investigación.

Al Laboratorio de Ensayos de Materiales de la FIC – UNI, por brindar sus instalaciones para la ejecución de los ensayos necesarios para la culminación de la presente tesis.

Al Ing. Manuel Chavesta Custodio, Jefe del Laboratorio de Anatomía e Identificación de Maderas de la Universidad Nacional Agraria La Molina, por su apoyo y conocimiento en la identificación anatómica de la especie forestal estudiada.

Al técnico de laboratorio David Huamán, por su apoyo y acompañamiento en campo para la obtención de muestras de la especie forestal estudiada.

## ÍNDICE

<b>Resumen .....</b>	<b>4</b>
<b>Abstract.....</b>	<b>5</b>
<b>Prólogo.....</b>	<b>6</b>
<b>Lista de tablas .....</b>	<b>7</b>
<b>Lista de figuras.....</b>	<b>10</b>
<b>Capítulo I: Introducción.....</b>	<b>13</b>
<b>Capítulo II: Marco teórico y conceptual .....</b>	<b>16</b>
2.1 Definición de la madera .....	16
2.2 Estructura de la madera.....	16
2.2.1 El tronco .....	16
2.3 Características físicas de la madera .....	18
2.3.1 Contenido de Humedad.....	18
2.3.2 Densidad .....	18
2.4 Propiedades resistentes de la madera .....	19
2.4.1 Resistencia a la compresión paralela.....	19
2.4.2 Resistencia a la compresión perpendicular .....	19
2.4.3 Resistencia a la tracción.....	19
2.4.4 Resistencia al corte.....	19
2.4.5 Resistencia a la flexión paralela al grano.....	19
2.5 Propiedades elásticas de la madera .....	19
2.6 Factores que afectan el comportamiento de la madera .....	20
2.6.1 Defectos de crecimiento .....	20
2.6.2 Influencia del contenido de humedad.....	20
2.6.3 Influencia de la densidad .....	20
2.7 Aserrado.....	21
2.7.1 Cortes del tronco.....	21
2.8 Secado .....	21
2.8.1 Secado natural .....	22
2.8.2 Secado artificial.....	22
2.9 Protección de la madera .....	22
<b>Capítulo III: Uso de la madera en la construcción .....</b>	<b>23</b>

3.1 Madera para encofrados.....	23
3.2 Madera no estructural .....	23
3.3 Madera estructural.....	25
<b>Capítulo IV: Madera Pashaco .....</b>	<b>26</b>
4.1 Nombres y familia .....	26
4.2 Procedencia .....	26
4.3 Descripción de la madera Pashaco.....	26
4.4 Características macroscópicas del Pashaco .....	26
4.5 Propiedades físicas y mecánicas, y tiempo de secado del Pashaco .....	27
4.5.1 Propiedades físicas del Pashaco .....	27
4.5.2 Propiedades tecnológicas del Pashaco .....	27
4.5.3 Secado del Pashaco ( <i>Albizzia sp.</i> ).....	28
4.6 Usos de la madera Pashaco.....	29
<b>Capítulo V: Métodos y normas para determinar los esfuerzos admisibles de la madera .....</b>	<b>30</b>
5.1 NTP 251.010 MADERA. Métodos para determinar el contenido de humedad .....	30
5.2 NTP 251.013 MADERA. Método para determinar el cizallamiento paralelo al grano .....	31
5.3 NTP 251.014 MADERA. Método para determinar la compresión axial o paralela al grano.....	32
5.4 NTP 251.016 MADERA. Método para determinar la compresión perpendicular al grano.....	32
5.5 NTP 251.085 MADERA. Determinación de la tensión paralela a las fibras .....	33
<b>Capítulo VI: Ensayos en la madera Pashaco.....</b>	<b>34</b>
6.1 Colección de muestras .....	34
6.1.1 Procedencia de las Muestras .....	34
6.1.2 Preparación de las Muestras.....	34
6.1.3 Codificación de las probetas .....	37
6.2 Ensayos en probetas .....	38
6.2.1. Compresión paralela al grano .....	38
6.2.2 Compresión perpendicular al grano .....	50
6.2.3 Tracción paralela a las fibras.....	60
6.2.4 Corte paralelo al grano .....	73
<b>Capítulo VII: Análisis de resultados de los ensayos .....</b>	<b>84</b>
7.1 Resumen de resultados obtenidos de los ensayos físico – mecánicos .....	84

7.1.1 Resultados obtenidos de los ensayos de la presente tesis .....	84
7.1.2 Resultados obtenidos de los ensayos representativos de otras investigaciones .....	85
7.1.3 Comparativo de propiedades físicas .....	86
7.2 Esfuerzos admisibles .....	87
7.2.1 Definición de factores F.C., F.T., F.S. y F.D.C.....	87
7.2.2 Cálculo de los esfuerzos admisibles .....	90
7.2.3 Comparativo de los resultados obtenidos con otros estudios .....	92
7.3 Propuesta de nuevo grupo estructural – Grupo D .....	94
7.3.1 Ajuste de esfuerzos admisibles y módulo de elasticidad.....	95
7.3.2 Densidad básica .....	113
7.3.3 Propuesta de nuevo grupo estructural de madera.....	114
<b>Conclusiones.....</b>	<b>117</b>
<b>Recomendaciones .....</b>	<b>119</b>
<b>Referencias bibliográficas .....</b>	<b>120</b>
<b>Anexos .....</b>	<b>123</b>

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación tuvo como finalidad la determinación de los esfuerzos admisibles de la especie forestal Pashaco (*Albizzia sp.*) para completar los datos necesarios para su inclusión en la propuesta de un nuevo grupo para uso estructural (Grupo D), en la norma E.010 Madera del reglamento nacional de edificaciones.

Para la determinación de los esfuerzos admisibles fue necesario realizar ensayos de laboratorio de acuerdo con las normas NTP 251.010, NTP 251.013, NTP 251.014, NTP 251.016 y NTP 251.085.

A los resultados experimentales obtenidos, se le sumaron los resultados de los ensayos a flexión, obtenidos en la tesis de grado “Clasificación estructural de la madera Pashaco (*Albizzia sp.*)” del autor Gabriel Herrera Ñañez (2016), y se realizó el cálculo de los esfuerzos admisibles de acuerdo a la metodología del “Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino de la Junta del Acuerdo de Cartagena – JUNAC”, obteniendo esfuerzos para un contenido de humedad aproximado del 15%.

Para la propuesta del nuevo grupo estructural de maderas, se determinó realizar el ajuste de los esfuerzos por contenido de humedad tomando como referencia a las publicaciones de la norma técnica colombiana NTC 6563:2021, el reglamento colombiano de construcción sismo resistente NSR-10 y el manual de la madera, publicado por el Laboratorio de Productos Forestales del Departamento de Agricultura de Estados Unidos, en donde se aplican métodos para obtener el esfuerzo admisible con un contenido de humedad de 22%.

La propuesta del nuevo grupo de maderas para uso estructural (Grupo D) representan aproximadamente el 60% de los esfuerzos admisibles establecidos en la norma técnica E.010 para el grupo C, a excepción del esfuerzo admisible en corte paralelo que representa el 37% aproximadamente.

Con el presente estudio, se busca incentivar la investigación en otras especies forestales, así como promover el uso de la especie forestal Pashaco en estructuras ligeras de viviendas, pérgolas, kioscos y similares.

## ABSTRACT

The purpose of this research work was to determine the admissible efforts of the forest species Pashaco (*Albizzia sp.*) to complete the necessary data for its inclusion in the proposal of a new group for structural use (Group D), in the standard E.010 Wood of the national building regulations.

To determine the admissible stresses, it was necessary to carry out laboratory tests in accordance with the NTP 251.010, NTP 251.013, NTP 251.014, NTP 251.016 and NTP 251.085 standards.

To the experimental results obtained, the results of the flexural tests were added, obtained in the degree thesis "Structural classification of Pashaco wood (*Albizzia sp.*)" by author Gabriel Herrera Ñañez (2016), and the calculation was performed of the admissible efforts according to the methodology of the "Design Manual for Wood of the Andean Group of the Board of the Cartagena Agreement – JUNAC", obtaining efforts for an approximate moisture content of 15%.

For the proposal of the new structural group of wood, it was determined to make the adjustment of the efforts for moisture content taking as reference the publications of the Colombian technical standard NTC 6563: 2021, the Colombian earthquake resistant construction regulation NSR-10 and the manual of wood, published by the Laboratory of Forest Products of the Department of Agriculture of the United States, where methods are applied to obtain the admissible stress with a moisture content of 22%.

The proposal for the new group of wood for structural use (Group D) represents approximately 60% of the admissible stresses established in technical standard E.010 for group C, with the exception of the admissible stress in parallel cut, which represents approximately 37%.

With the present study, it is sought to encourage research in other forest species, as well as to promote the use of the Pashaco forest species in light housing structures, pergolas, kiosks and the like.

## PRÓLOGO

En la Norma peruana de diseño y construcción con madera se incluye el uso de especies con densidades mayores de  $0.40 \text{ g/cm}^3$ , sin embargo, en los bosques de la amazonia peruana existen especies con densidades menores las cuales muestran sus posibilidades de aplicación estructural en edificaciones livianas, de acuerdo a varios estudios realizados, por lo que es conveniente la incorporación de un nuevo grupo estructural en la Norma vigente.

El presente estudio ha sido realizado para completar la información requerida de la especie Pashaco, para su inclusión en la propuesta del nuevo grupo estructural en la Norma.

La inclusión de nuevas especies permite su valorización comercial, evitando su desperdicio y con ello su abandono en el bosque con la consiguiente contaminación y permitirá incrementar la oferta para la construcción contribuyendo al mejor aprovechamiento del recurso forestal existente en el país.

Asesora

## LISTA DE TABLAS

Tabla N° 1. Resultados obtenidos en la tesis de grado “Clasificación estructural de la madera Oje Renaco”.....	13
Tabla N° 2. Resultados obtenidos en la tesis de grado “Clasificación estructural de la especie forestal Oje Blanco (Ficus Anthelmíntica Mart.)” .....	13
Tabla N° 3. Resultados obtenidos en la tesis de grado “Clasificación estructural de la madera Pashaco (Albizzia sp.)” .....	14
Tabla N° 4. Densidad básica de la especie Pashaco. ....	27
Tabla N° 5. Propiedades tecnológicas de la especie Pashaco .....	27
Tabla N° 6. Secado Natural y Artificial del Pashaco (Albizzia sp.) .....	29
Tabla N° 7. Dimensiones de las probetas para el ensayo de compresión paralela al grano.....	39
Tabla N° 8. Resultado de Resistencia Máxima (RM) y Esfuerzo Límite Proporcional (ELP) del ensayo de compresión paralela al grano.....	40
Tabla N° 9. Resultado de Módulo de Elasticidad (MOE) del ensayo de compresión paralela al grano.....	43
Tabla N° 10. Resultado de Contenido de Humedad (CH) del ensayo de compresión paralela al grano.....	44
Tabla N° 11: Resultados de esfuerzo límite proporcional y contenido de humedad del ensayo de compresión paralela al grano.....	46
Tabla N° 12: Resultados promedio del ensayo de compresión paralela al grano.....	50
Tabla N° 13. Resultado de Esfuerzo Límite Proporcional (ELP) del ensayo de compresión perpendicular al grano. ....	52
Tabla N° 14. Resultado de Contenido de Humedad (CH) del ensayo de compresión perpendicular al grano.....	54
Tabla N° 15. Resultados de esfuerzo límite proporcional y contenido de humedad del ensayo de compresión perpendicular al grano.....	55
Tabla N° 16. Resultados promedio del ensayo de compresión perpendicular al grano.....	60
Tabla N° 17. Resultado de Módulo de Rotura (MOR) del ensayo de tracción paralela a las fibras. ....	61
Tabla N° 18. Resultado de Esfuerzo Límite Proporcional (ELP) del ensayo de tracción paralela a las fibras. ....	63
Tabla N° 19. Resultado de Módulo de Elasticidad (MOE) del ensayo de tracción paralela a las fibras.....	65
Tabla N° 20. Resultado de Contenido de Humedad (CH) del ensayo de tracción paralela a las fibras.....	67

Tabla N° 21. Resultados de módulo de rotura y contenido de humedad del ensayo de tracción paralela a las fibras. ....	68
Tabla N° 22. Resultados promedio del ensayo de tracción paralela a las fibras. ....	72
Tabla N° 23. Resultado de la Resistencia al Corte del ensayo de corte paralelo al grano. ....	74
Tabla N° 24. Resultado de Contenido de Humedad (CH) del ensayo de corte paralelo al grano. ....	76
Tabla N° 25. Resultados de la resistencia al corte y contenido de humedad del ensayo de corte paralela al grano. ....	78
Tabla N° 26. Resultados promedio del ensayo de corte paralelo al grano. ....	83
Tabla N° 27. Resultados del ensayo de compresión paralela al grano. ....	84
Tabla N° 28. Resultados del ensayo de compresión perpendicular al grano. ....	84
Tabla N° 29. Resultados del ensayo de tracción paralela a las fibras. ....	85
Tabla N° 30. Resultados del ensayo de corte paralelo al grano. ....	85
Tabla N° 31. Resultados del ensayo de flexión en vigas a escala natural. ....	85
Tabla N° 32. Cuadro comparativo de propiedades físicas. ....	86
Tabla N° 33. Factores de calidad. ....	88
Tabla N° 34. Peralte de las probetas en ensayo de tracción paralela a las fibras. ....	88
Tabla N° 35. Factores de calidad y reducción por tamaño. ....	89
Tabla N° 36. Factores de calidad, reducción por tamaño, y servicio y seguridad. ....	90
Tabla N° 37. Factores de calidad, reducción por tamaño, servicio y seguridad, y duración de carga. ....	90
Tabla N° 38. Resumen de los esfuerzos admisibles hallados en laboratorio. ....	92
Tabla N° 39. Resultados de ensayo de compresión paralela al grano. ....	93
Tabla N° 40. Comparativo de esfuerzo admisible por compresión paralela hallados entre la presente tesis y la tesis de Herrera Ñañez, 2016. ....	93
Tabla N° 41. Comparativo entre los esfuerzos hallados en la presente tesis y los esfuerzos admisibles de la norma técnica E.010 Madera. ....	94
Tabla N° 42. Constantes para uso en la ecuación Ec.1. ....	96
Tabla N° 43. Cumplimiento de condiciones establecidas en la NTC 6563:2021. ....	96
Tabla N° 44. Valores de A y C para fórmulas Ec.2 y Ec.3. ....	97
Tabla N° 45. Valores de B para la fórmula Ec.2 y Ec.3. ....	97
Tabla N° 46. Constantes para uso en la ecuación Ec.4. ....	100

Tabla N° 47. Coeficientes de afectación para esfuerzos y módulos de elasticidad.....	101
Tabla N° 48. Modificación de los esfuerzos admisibles para efectos de secado para madera de 4 pulgadas o menos de espesor. ....	107
Tabla N° 49. Resumen de propiedades ajusta al 22% de contenido de humedad.....	112
Tabla N° 50. Lista de publicaciones de densidad básica en la especie Pashaco.....	113
Tabla N° 51. Cálculo de la densidad básica de la especie Pashaco.....	114
Tabla N° 52. Densidad básica propuesta para el Grupo D.....	114
Tabla N° 53. Módulo de elasticidad propuesto para el Grupo D. ....	115
Tabla N° 54. Esfuerzos admisibles propuestos para el Grupo D. ....	115
Tabla N° 55. Lista de especies agrupadas, incluyendo el Grupo D propuesto. .....	116

## LISTA DE FIGURAS

Figura N° 1. Partes de la sección transversal del tronco .....	17
Figura N° 2. Planos de la madera .....	17
Figura N° 3. Tipos de corte de la madera .....	21
Figura N° 4. Madera en encofrados. ....	23
Figura N° 5. Madera en puertas y ventanas.....	24
Figura N° 6. Madera en pisos .....	24
Figura N° 7. Madera estructural.....	25
Figura N° 8. Horno eléctrico. ....	30
Figura N° 9. Balanza de precisión. ....	30
Figura N° 10. Probeta de corte paralelo al grano.....	31
Figura N° 11. Ensayo de corte paralelo al grano. ....	31
Figura N° 12. Ensayo de compresión axial .....	32
Figura N° 13. Ensayo de compresión perpendicular al grano .....	33
Figura N° 14. Ensayo de tracción paralela a las fibras .....	33
Figura N° 15. Recolección de muestras de la madera Pashaco (Albizzia sp.) ...	34
Figura N° 16. Proceso de corte de la madera aserrada. ....	35
Figura N° 17. Apilamiento de la madera Pashaco. ....	35
Figura N° 18. Medida de contenido de humedad.....	36
Figura N° 19. Madera Pashaco en taller de carpintería para preparación de probetas.....	36
Figuras N° 20. Probetas de madera Pashaco.....	37
Figuras N° 21. Probeta 1.7 para compresión perpendicular.....	37
Figura N° 22. Ensayo de Compresión Paralela al Grano .....	38
Figura N° 23. Muestras de probeta en el horno para hallar el contenido de humedad del ensayo de Compresión Paralela al Grano.....	39
Figura N° 24. Gráfico que identifica el límite de exclusión del esfuerzo límite proporcional a compresión paralela al grano.....	42
Figura N° 25. Variación de esfuerzo límite proporcional a compresión paralela al grano con respecto al contenido de humedad – Pashaco – Árbol 1. ....	47
Figura N° 26. Variación de esfuerzo límite proporcional a compresión paralela al grano con respecto al contenido de humedad – Pashaco – Árbol 2. ....	48
Figura N° 27. Variación de esfuerzo límite proporcional a compresión paralela al grano con respecto al contenido de humedad – Pashaco – Árbol 3. ....	48

Figura N° 28. Variación de esfuerzo límite proporcional a compresión paralela al grano con respecto al contenido de humedad – Pashaco – Árbol 4. ....	49
Figura N° 29. Variación de esfuerzo límite proporcional a compresión paralela al grano con respecto al contenido de humedad – Pashaco – Árbol 5. ....	49
Figura N° 30. Variación de esfuerzo límite proporcional a compresión paralela al grano con respecto al contenido de humedad – Pashaco – Total árboles.....	50
Figura N° 31. Ensayo de Compresión Perpendicular al Grano .....	51
Figura N° 32. Muestras de probeta en el horno para hallar el contenido de humedad del ensayo de Compresión perpendicular al grano.....	51
Figura N° 33. Gráfico que identifica el límite de exclusión del esfuerzo límite proporcional a compresión perpendicular al grano. ....	53
Figura N° 34. Variación de esfuerzo límite proporcional a compresión perpendicular al grano con respecto al contenido de humedad – Pashaco – Árbol 1.....	57
Figura N° 35. Variación de esfuerzo límite proporcional a compresión perpendicular al grano con respecto al contenido de humedad – Pashaco – Árbol 2.....	57
Figura N° 36. Variación de esfuerzo límite proporcional a compresión perpendicular al grano con respecto al contenido de humedad – Pashaco – Árbol 3.....	58
Figura N° 37. Variación de esfuerzo límite proporcional a compresión perpendicular al grano con respecto al contenido de humedad – Pashaco – Árbol 4.....	58
Figura N° 38. Variación de esfuerzo límite proporcional a compresión perpendicular al grano con respecto al contenido de humedad – Pashaco – Árbol 5.....	59
Figura N° 39. Variación de esfuerzo límite proporcional a compresión perpendicular al grano con respecto al contenido de humedad – Pashaco – Total árboles. ....	59
Figura N° 40. Ensayo de Tracción paralela a las fibras.....	60
Figura N° 41. Muestras de probeta en el horno para hallar el contenido de humedad del ensayo de Tracción paralela a las fibras. ....	61
Figura N° 42. Gráfico que identifica el límite de exclusión del módulo de rotura a tracción paralela a las fibras. ....	63
Figura N° 43. Variación del módulo de rotura a tracción paralela a las fibras con respecto al contenido de humedad – Pashaco – Árbol 1.....	70
Figura N° 44. Variación del módulo de rotura a tracción paralela a las fibras con respecto al contenido de humedad – Pashaco – Árbol 2.....	70
Figura N° 45. Variación del módulo de rotura a tracción paralela a las fibras con respecto al contenido de humedad – Pashaco – Árbol 3.....	71

Figura N° 46. Variación del módulo de rotura a tracción paralela a las fibras con respecto al contenido de humedad – Pashaco – Árbol 4.....	71
Figura N° 47. Variación del módulo de rotura a tracción paralela a las fibras con respecto al contenido de humedad – Pashaco – Árbol 5.....	72
Figura N° 48. Variación del módulo de rotura a tracción paralela a las fibras con respecto al contenido de humedad – Pashaco – Total árboles. ....	72
Figura N° 49. Ensayo de Corte paralelo al grano. ....	73
Figura N° 50. Muestras de probeta en el horno para hallar el contenido de humedad del ensayo de Corte paralelo al grano.....	74
Figura N° 51. Gráfico que identifica el límite de exclusión de la resistencia al corte paralelo al grano.....	76
Figura N° 52. Variación de la resistencia al corte paralelo al grano con respecto al contenido de humedad – Pashaco – Árbol 1.....	80
Figura N° 53. Variación de la resistencia al corte paralelo al grano con respecto al contenido de humedad – Pashaco – Árbol 2.....	81
Figura N° 54. Variación de la resistencia al corte paralelo al grano con respecto al contenido de humedad – Pashaco – Árbol 3.....	81
Figura N° 55. Variación de la resistencia al corte paralelo al grano con respecto al contenido de humedad – Pashaco – Árbol 4.....	82
Figura N° 56. Variación de la resistencia al corte paralelo al grano con respecto al contenido de humedad – Pashaco – Árbol 5.....	82
Figura N° 57. Variación de la resistencia al corte con respecto al contenido de humedad – Pashaco – Total árboles. ....	83
Figura N° 58. Planteamiento de proporciones para ajuste de humedad NSR-10.....	102

## CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

En la Amazonía peruana existe una gran variedad de especies forestales que por no contar con estudios técnicos que den a conocer sus propiedades físicas y mecánicas no pueden ser explotados con un programa ambiental sostenible, ni comercializadas en el mercado local ni internacional.

Se puede observar que en los últimos años se han realizado estudios de clasificación estructural de especies de densidades básicas inferiores a 0.40 g/cm<sup>3</sup>, y propiedades mecánicas y elásticas inferiores a los del grupo C de la norma de madera vigente NTE 0.10 “Madera” DS N° 005-2014-Vivienda. Estas investigaciones concluyen también con la sugerencia de la creación de un nuevo grupo de maderas para uso estructural, el Grupo D, teniendo en cuenta que estas especies tienen posibilidades de ser usados en construcción. Se pueden nombrar, por ejemplo, la investigación en la especie Oje Renaco (*Ficus schultesii dugand*) del autor Rodrigo Hinostroza Caso (2012) y la investigación de la especie Oje Blanco (*Ficus anthelmíntica mart.*) del autor Pedro Iván Navarrete Gómez (2017) cuyos resultados se muestran en las tablas N° 1 y N° 2.

Tabla N° 1. Resultados obtenidos en la tesis de grado “Clasificación estructural de la madera Oje Renaco” del autor Rodrigo Hinostroza Caso, 2012.

OJE RENACO		
Propiedad	Valor	Unidad
Contenido de humedad	21.62	%
Densidad básica	0.36	g/cm <sup>3</sup>
MOR <sub>promedio flexión</sub>	382.82	kg/cm <sup>2</sup>
MOR <sub>percentil 5% flexión</sub>	297.80	kg/cm <sup>2</sup>
E <sub>promedio</sub>	65,031.82	kg/cm <sup>2</sup>
E <sub>mínimo</sub>	60,541.05	kg/cm <sup>2</sup>

Tabla N° 2. Resultados obtenidos en la tesis de grado “Clasificación estructural de la especie forestal Oje Blanco (*Ficus Anthelmíntica Mart.*)” del autor Pedro Iván Navarrete Gómez, 2017.

OJE BLANCO		
Propiedad	Valor	Unidad
Contenido de humedad	31.58	%
Densidad básica	0.36	g/cm <sup>3</sup>
MOR <sub>promedio flexión</sub>	148.87	kg/cm <sup>2</sup>
MOR <sub>percentil 5% flexión</sub>	110.51	kg/cm <sup>2</sup>
E <sub>promedio</sub>	33,409.11	kg/cm <sup>2</sup>
E <sub>mínimo</sub>	21,515.78	kg/cm <sup>2</sup>

Otro ejemplo es la investigación en la especie Pashaco (*Albizzia sp.*) realizada por Gabriel Fernando Herrera Ñañez (2016) cuyos resultados se aprecian en la tabla N° 3.

Tabla N° 3. Resultados obtenidos en la tesis de grado "Clasificación estructural de la madera Pashaco (*Albizzia sp.*)" del autor Gabriel Herrera Ñañez, 2016.

PASHACO		
Propiedad	Valor	Unidad
Contenido de humedad	14.37	%
Densidad básica	0.39	g/cm <sup>3</sup>
MOR promedio flexión	440.34	kg/cm <sup>2</sup>
MOR percentil 5% flexión	227.81	kg/cm <sup>2</sup>
E promedio	87,174.95	kg/cm <sup>2</sup>
E mínimo	50,198.35	kg/cm <sup>2</sup>

Si bien, al clasificar las maderas en los grupos A, B o C se pueden adoptar todos los esfuerzos admisibles indicados en la norma E.010 (ítem 5.2.3), para el caso de las maderas Pashaco, Oje Renaco y Oje Blanco no se pueden utilizar los esfuerzos indicados en la norma de madera vigente ya que no pertenecen a ninguno de los grupos. Solamente se tiene como dato identificado, hasta el momento, el esfuerzo admisible a flexión como resultado del ensayo de 30 vigas a escala natural en dichos estudios.

El principal objetivo de esta tesis es determinar los esfuerzos admisibles de la madera Pashaco, mediante los ensayos de corte paralelo al grano, compresión axial o paralelo al grano, compresión perpendicular al grano y tracción paralela a las fibras, para que con los resultados obtenidos se pueda completar la información para su inclusión en el nuevo grupo estructural. El presente estudio contribuirá a incentivar la investigación de más especies maderables existentes en la Amazonía y a favorecer su explotación y comercio, teniendo en cuenta la política de programa de desarrollo forestal sostenible.

El desarrollo de los temas del presente trabajo se fundamenta en los conocimientos y estudios realizados sobre maderas tropicales. Seguidamente se ha dividido la tesis en siete capítulos, los cuales, son resumidos a continuación.

En el Capítulo 1 se hace una breve introducción al contenido de la presente tesis, explicando los capítulos y temas que se tratarán en su desarrollo.

En el Capítulo 2 se presenta una descripción general de las características y estructura de la madera, se expone también el proceso de secado, sobre los agentes que afectan su comportamiento y protección de la madera.

En el Capítulo 3 se explica sobre los usos de la madera en la construcción, condiciones y requerimientos de la madera para el uso estructural, uso como madera en encofrados y uso en acabados de carpintería.

En el Capítulo 4 se presenta la descripción general de la madera Pashaco, procedencia y el nombre científico que se le dio en base a un estudio anatómico. También se explican las características anatómicas y macroscópicas, características mecánicas, características físicas, usos y aplicaciones.

En el Capítulo 5 se presentan los métodos y normas para determinar los esfuerzos admisibles de la madera en corte paralelo al grano, compresión axial, compresión perpendicular al grano y tracción paralela a las fibras.

En el Capítulo 6 se describe el proceso de recolección y preparación de las muestras de madera, los cuales, consisten en probetas de diferentes dimensiones, ejecución de ensayos de laboratorio y exposición de los resultados obtenidos en corte, compresión axial, compresión perpendicular y tracción paralela.

En el Capítulo 7 se presenta el análisis de los resultados provenientes de los ensayos físicos y mecánicos realizados. Asimismo, se muestran los cuadros de resumen con sus respectivos análisis estadísticos y se realiza la propuesta de un nuevo grupo estructural para la norma técnica peruana.

Finalmente se plantean las conclusiones y recomendaciones obtenidas en la presente tesis.

## **CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL**

### **2.1 Definición de la madera**

La madera es un material orgánico, conformado por diferentes tipos de células, generalmente alargadas y ahusadas pero huecas.

La madera cuando forma parte del tronco de los árboles, transporta el agua y las sustancias nutritivas del suelo hacia las hojas, brinda soporte a las ramas y almacena los productos transformados por las hojas (Centro de Innovación Tecnológico de la Madera [CITEmadera], 2009).

### **2.2 Estructura de la madera**

#### **2.2.1 El tronco**

La sección transversal del tronco presenta las siguientes partes:

- Corteza exterior. - es la cubierta que protege al árbol de los agentes atmosféricos.
- Corteza interior. - es la capa encargada de conducir el alimento hacia las ramas, tronco y raíces.
- Cambium. - es el tejido que se encuentra entre la corteza interior y la madera.
- Xilema. - es la parte maderable del tronco, se puede distinguir en ella la albura, el duramen y la médula.
- La albura. - es la parte exterior del xilema y tiene como función conducir el agua y las sales minerales. Es de color claro y de espesor variable de acuerdo a la especie.
- El duramen. - su función es brindar resistencia para el soporte del árbol. Tiene un color más oscuro y posee un mejor comportamiento frente al ataque de hongos e insectos que la albura.
- Médula. - es la parte central de la sección del tronco.

(Junta del Acuerdo de Cartagena [JUNAC], 1984).

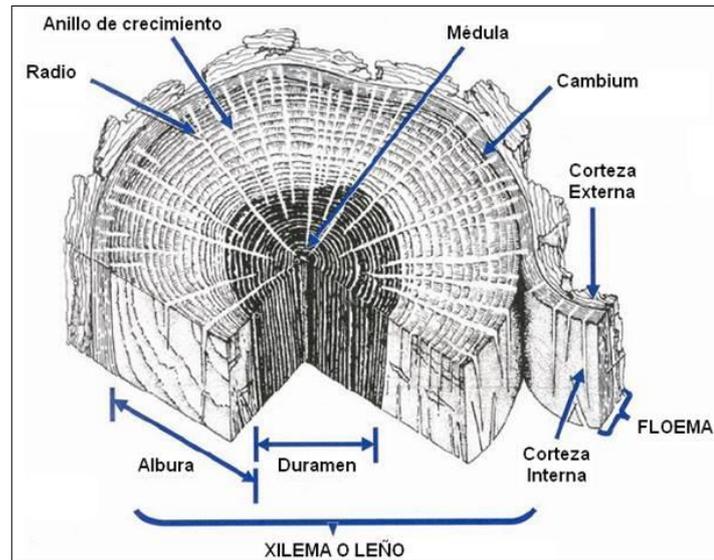


Figura N° 1. Partes de la sección transversal del tronco

Fuente: [www.monografias.com/trabajos75/manual-identificacion-maderas-forestales](http://www.monografias.com/trabajos75/manual-identificacion-maderas-forestales)

### 2.2.2 Planos de la madera

Los planos de la madera son las secciones de corte o superficies que resultan al cortar una pieza de madera en diferentes planos. Esta puede ser transversal y longitudinal (radial y tangencial).

- Sección transversal. - es el corte perpendicular al eje longitudinal del tronco.
- Sección radial. - es el corte que se realiza paralelo a los radios y perpendicular a los anillos de crecimiento.
- Sección tangencial. - es el corte que se realiza tangente a los anillos de crecimiento y perpendicular a los radios (Chavesta, 2005).

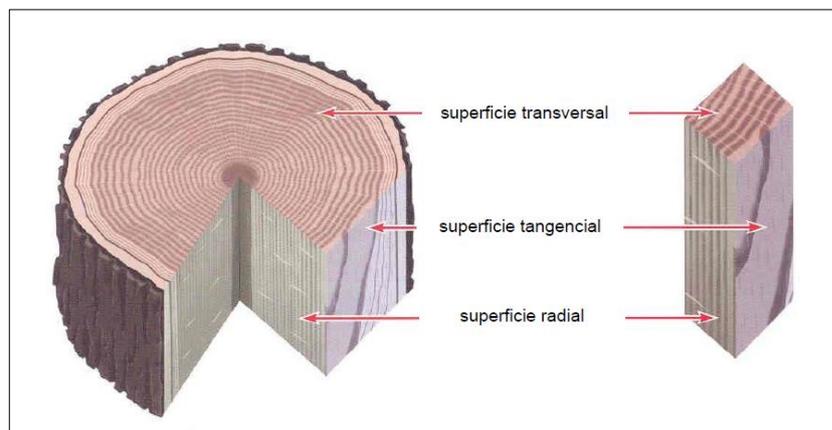


Figura N° 2. Planos de la madera

Fuente: Manual de identificación de maderas. Chavesta 2005.

### 2.2.3 Estructura Macroscópica

Es observada a simple vista o con la ayuda de una lupa de 10 aumentos; se observan las siguientes características:

- Anillos de crecimiento. - son capas de crecimiento que tiene la forma de una circunferencia. Cada anillo corresponde a un año de crecimiento.
- Radios medulares. - los radios son las líneas que van desde la médula hacia la corteza. Se orientan en sentido perpendicular al eje del árbol.
- Parénquima longitudinal. – se orientan en sentido paralelo al eje longitudinal del tronco. Su disposición tiene importancia en la identificación de la especie (JUNAC, 1984).

## 2.3 Características físicas de la madera

### 2.3.1 Contenido de Humedad

La madera contiene agua en 3 formas:

- Agua libre: se ubica en las cavidades celulares. Se pierde al exponer la madera al medio ambiente.
- Agua higroscópica: contenido en las paredes celulares. Se pierde después de la pérdida del agua libre.
- Agua de constitución: forma parte de la estructura molecular. Sólo se pierde por combustión de la madera.

De acuerdo a la cantidad de agua, la madera se presenta en 3 estados:

- Verde: cuando solo ha perdido parte del agua libre.
- Seca: cuando ha perdido toda el agua libre más parte del agua higroscópica.
- Anhidra: cuando ha perdido todo el agua libre y el agua higroscópica.

El contenido de humedad (CH) es el porcentaje en peso que tiene el agua libre más el agua higroscópica con respecto al peso de la madera anhidra (JUNAC, 1984).

$$CH\% = \frac{\text{Peso húmedo} - \text{Peso anhidro}}{\text{Peso anhidro}} \times 100$$

### 2.3.2 Densidad

La densidad de la madera (DM) se obtiene al dividir el peso de la madera entre el volumen que ocupa. La densidad de la madera varía de acuerdo al contenido de humedad y al tipo de especie.

$$DM = \frac{\text{Peso}}{\text{Volumen}}$$

La densidad en función a su peso seco (anhidro) permite clasificar a las especies en blandas, medias y duras; ya que se relaciona con la dureza y la resistencia mecánica (CITEmadera, 2009).

## **2.4 Propiedades resistentes de la madera**

### **2.4.1 Resistencia a la compresión paralela**

Es la resistencia a la fuerza que actúa en dirección paralela a las fibras. Esto ocurre cuando se utiliza la madera como columnas o pilotes (Santiago, Guevara y Espinoza, 2013).

### **2.4.2 Resistencia a la compresión perpendicular**

Es la resistencia a una carga aplicada en sentido perpendicular a la dirección de las fibras en una de las caras radiales de la madera (Spavento, Keil y Monteoliva, 2008).

### **2.4.3 Resistencia a la tracción**

Según los apuntes de las clases del curso de carpintería II, dictado en la escuela universitaria de oficios de la Universidad Nacional de La Plata – Argentina, la resistencia a la tracción se produce cuando dos fuerzas de sentido contrario tienden a estirar una pieza de madera. Estas fuerzas pueden estar aplicadas en el sentido paralelo o perpendicular a las fibras, teniendo un comportamiento diferente en uno y otro caso.

### **2.4.4 Resistencia al corte**

Es la capacidad que tiene la madera de resistir fuerzas que tienden a causar el deslizamiento de una sección sobre otra adyacente a la anterior. La resistencia de la madera en sentido perpendicular a las fibras es mucho mayor que en sentido paralelo a las fibras (Spavento, Keil y Monteoliva, 2008).

### **2.4.5 Resistencia a la flexión paralela al grano**

Es la resistencia que ofrece una viga a una carga puntual en el centro de la luz o distancia entre apoyos, en la cara radial de ésta (Montero, 2010).

## **2.5 Propiedades elásticas de la madera**

- Módulo de elasticidad (MOE). – La elasticidad significa que las deformaciones producidas por esfuerzos leves se recuperan completamente luego de retirar

las cargas. Al aplicar esfuerzos moderados o mayores se produce la deformación plástica y/o falla del material.

- Módulo de corte o rigidez (G). – indica la resistencia a la deflexión causada por esfuerzos cortantes.
- Módulo de Poissón. – es la relación entre la deformación transversal y la deformación axial. (Laboratorio de productos forestales, 2010).

## **2.6 Factores que afectan el comportamiento de la madera**

### **2.6.1 Defectos de crecimiento**

Los principales son: nudos, inclinación del grano, fallas de compresión, perforaciones y médula excéntrica.

- Los nudos son discontinuidades en la parte leñosa del tronco producidas por el nacimiento y desarrollo de las ramas.
- La inclinación del grano con respecto a la dirección longitudinal del tronco tiene marcada influencia en el comportamiento de los elementos estructurales.
- Las fallas de compresión son zonas de la madera en que las fibras están interrumpidas.
- Las perforaciones son discontinuidades presentes en la madera antes de su aserradero.
- La médula excéntrica es consecuencia del crecimiento de árboles en condiciones adversas, tales como, la excesiva pendiente del terreno, la presencia de vientos, luz intensa de un solo lado, etc. (JUNAC, 1984).

### **2.6.2 Influencia del contenido de humedad**

En general, conforme la madera se seque, las características resistentes mejorarán a causa de la densificación y rigidización de las paredes celulares, y al aumento de material leñoso por unidad de volumen originado por la contracción que acompaña a la pérdida del agua (Inga, 2000).

### **2.6.3 Influencia de la densidad**

La densidad tiene una relación directa con las propiedades mecánicas de la madera, a mayor densidad, mayor resistencia. Generalmente, las maderas de mayor densidad son más durables que las maderas livianas (Santiago, Guevara y Espinoza, 2013).

## 2.7 Aserrado

El aserrado es la primera transformación de los troncos para obtener piezas de madera de secciones rectangulares (tablones) mediante el uso de aserraderos con elementos cortantes de disco, cinta o de cadena (Santiago, Guevara y Espinoza, 2013).

### 2.7.1 Cortes del tronco

El corte de la madera puede ser de 3 tipos:

- Radial: corte paralelo al eje longitudinal del tronco y perpendicular a los anillos de crecimiento.
- Tangencial: corte paralelo al eje del tronco, tangente a los anillos de crecimiento y perpendicular a los radios.
- Oblicuo: corte paralelo al eje del tronco y en dirección arbitraria (CITEmadera, 2009).

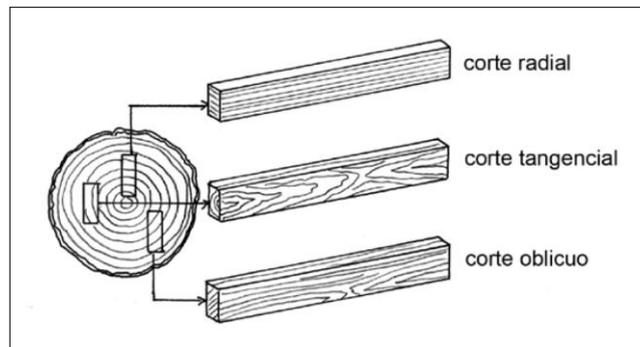


Figura N° 3. Tipos de corte de la madera

Fuente: Técnicas de secado de la madera

## 2.8 Secado

El secado de la madera es el proceso por el cual se elimina el exceso de agua en la madera con el propósito de estabilizarla para un óptimo procesamiento y trabajabilidad.

Con el secado de la madera se logra:

- Estabilidad dimensional.
- Disminuir defectos como arqueamiento, despegues, abertura de uniones y rajaduras.
- Aumentar la resistencia física, mecánica y biológica (CITEmadera, 2009).

Actualmente, existen 2 tipos de secado de la madera:

### 2.8.1 Secado natural

Este tipo de secado se obtiene apilando las maderas y exponiéndolas a la acción de los factores climáticos (temperatura, humedad relativa, velocidad del aire) del lugar donde se encuentra.

Existen 3 formas de apilar la madera para el secado natural:

- **Apilado horizontal:** consiste en formar pilas horizontales con las tablas que se van a secar, colocadas una al lado de otra y separadas verticalmente con listones o separadores.
- **Apilado en triángulo:** consiste en la formación de pilas mediante el entrecruzamiento de los extremos de las piezas de madera.
- **Apilado en caballete:** consiste en la colocación de las tablas reclinadas sobre un soporte transversal. En el extremo inferior se colocan sobre una guía separada del suelo (CITEmadera, 2009).

### 2.8.2 Secado artificial

Para el secado artificial se utilizan hornos con temperaturas altas y circulación de aire más rápida, los cuales, aumentan la velocidad del secado (Laboratorio de productos forestales, 2010).

## 2.9 Protección de la madera

La madera es susceptible al ataque de hongos e insectos, desgaste mecánico e intemperismo que causan alteración en sus propiedades físicas y mecánicas.

Para prevenir los daños causados por insectos u hongos se debe preservar la madera. El uso de preservantes es importante cuando la madera se encuentra a la intemperie, en construcciones civiles y al contacto con el agua (Santiago, Guevara y Espinoza, 2013).

### CAPÍTULO III: USO DE LA MADERA EN LA CONSTRUCCIÓN

El uso de la madera en construcción se encuentra principalmente en encofrados, elementos estructurales (vigas, columnas, muros, techos, cerchas) y elementos no estructurales (puertas, ventanas, muebles). Los requisitos de la madera para cumplir con cualquiera de estas funciones son diferentes.

#### 3.1 Madera para encofrados

De acuerdo a la publicación del Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción (SENCICO) sobre el Uso de la Madera en Encofrados, 2016, los requisitos de la madera para encofrados son los siguientes:

- Ser liviana y resistente, con módulos de elasticidad que limiten su deformación.
- Ser libre de defectos (nudos, rajaduras, alabeos, entre otros) que disminuyan su resistencia o aparecer al desencofrar concretos caravista.
- Es recomendable utilizar madera seca al aire, con un contenido de humedad aproximado entre el 15% y 18%.



Figura N° 4. Madera en encofrados.

Fuente: Obras Hergon S.A. – Centro de monitoreo – Santiago - Cusco

#### 3.2 Madera no estructural

La madera de uso no estructural se clasifica en madera vista (de buena apariencia y limpia de defectos) y no vista (serán pintadas o cubiertas por barnices).

Los requisitos de la madera para uso no estructural son los siguientes:

- Debe estar libre de ataque visible de hongos o pudrición alguna. No debe provenir de la médula del árbol y no debe presentar rajaduras severas ni aristas faltantes.

- La presencia de agujeros de insectos está permitida siempre sean escasos y bien esparcidos.
- Debe estar libre de nudos, deben ser sanos y firmes.
- Los defectos de secado (grietas y arqueaduras) deberán ser leves.

Los requisitos de acuerdo a su uso, son los siguientes:

- La madera para puertas y ventanas debe ser durable o estar preservada contra hongos e insectos, además de tener buena trabajabilidad.
- La madera para pisos debe tener resistencia al desgaste y buena apariencia.
- La madera para molduras y forros deben ser de baja o mediana densidad, además de poseer buen comportamiento al acabado con máquinas simples, al clavado y encolado para su fijación (JUNAC, 1984).



Figura N° 5. Madera en puertas y ventanas

Fuente: Obras Hergon S.A. – I.E. N° 56435 de Miraflores – Espinar - Cusco



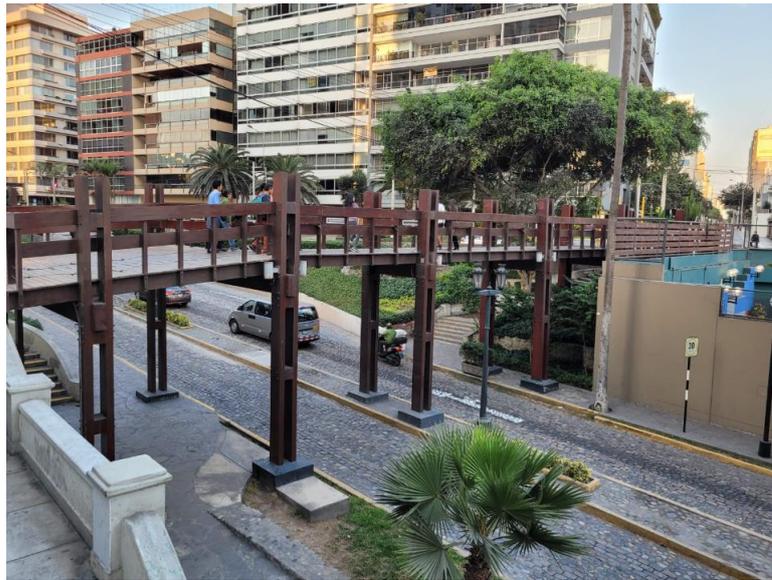
Figura N° 6. Madera en pisos

Fuente: Obras Hergon S.A. – I.E. Kari Grande – San Sebastián – Cusco

### 3.3 Madera estructural

La madera para uso estructural debe cumplir con los siguientes requisitos:

- a. Debe ser material clasificado como de calidad estructural para lo cual debe cumplir con la Norma de Clasificación Visual por Defectos PADT-REFORT.
- b. Debe ser madera proveniente de las especies forestales consideradas como adecuadas para construir y que se presentan agrupadas en el Anexo 3 “Lista de Especies Agrupadas” de la Norma Técnica E.010 “Madera”.
- c. Deben ser piezas de madera dimensionadas de acuerdo a las escuadrías o secciones comerciales (JUNAC, 1984).



*Figura N° 7. Madera estructural.*

*Fuente: Puente en Bajada Balta, Miraflores, Lima – Elaboración propia*

## CAPÍTULO IV: MADERA PASHACO

### 4.1 Nombres y familia

- Nombre científico: *Albizzia sp.*
- Familia: Fabaceae
- Nombre común: Pashaco

### 4.2 Procedencia

La especie Pashaco se encuentra distribuida desde el sur de México, América Central, Brasil, Colombia, Venezuela, Perú, Ecuador y Bolivia. En el Perú se encuentra distribuida en los departamentos de Huánuco, San Martín, Loreto y Ucayali. Se desarrolla en suelos bien drenados en las partes altas y bajas de los bosques primarios y secundarios (Confederación Peruana de la Madera [CPM], 2008).

### 4.3 Descripción de la madera Pashaco

En el Compendio de información técnica de 32 especies forestales – Tomo II de la Confederación Peruana de la Madera (2008), se indican las siguientes características para la especie Pashaco:

- **Color:** La albura es de color blanco amarillento con transición gradual a duramen de color marrón muy pálido
- **Brillo:** De mediano a brillante
- **Grano:** De recto a entrecruzado
- **Textura:** Media
- **Veteado:** Satinado en bandas longitudinales poco demarcado
- **Olor:** Ausente o no distintivo

### 4.4 Características macroscópicas del Pashaco

De acuerdo con el estudio de propiedades tecnológicas y usos de la madera de 40 especies del bosque nacional Alexander Von Humboldt, realizados por Aróstegui, González y Sato, las características macroscópicas de la madera Pashaco son las siguientes:

- **Parénquima:** es visible a simple vista.
- **Porosidad:** los poros son visibles a simple vista, presenta poros solitarios, es difusa.
- **Anillo de crecimiento:** son visibles a simple vista.

## 4.5 Propiedades físicas y mecánicas, y tiempo de secado del Pashaco

### 4.5.1 Propiedades físicas del Pashaco

A continuación, se presenta la tabla resumen de valores promedio de la densidad básica de la especie Pashaco hallada en diferentes estudios:

Tabla N° 4. Densidad básica de la especie Pashaco.

DENSIDAD BÁSICA DE LA ESPECIE PASHACO ( <i>Albizzia sp.</i> ) g/cm <sup>3</sup>	
ESTUDIO	PROMEDIO
ESTUDIO TECNOLÓGICO DE MADERAS DEL PERÚ (ZONA PUCALLPA) - CARACTERÍSTICAS TECNOLÓGICAS Y USOS DE 40 ESPECIES DEL BOSQUE ALEXANDER VON HUMBOLDT	0.45
TESIS DE GRADO: CLASIFICACIÓN ESTRUCTURAL DE LA MADERA PASHACO ( <i>ALBIZZIA SP.</i> ) – G. HERRERA ÑAÑEZ, 2016.	0.39
TESIS DE GRADO: UNIONES ESTRUCTURALES CLAVADAS CON MADERA PASHACO ( <i>ALBIZZIA SP.</i> ) – A. CORRALES PORRAS, 2018. (PROBETAS CON 4 CLAVOS).	0.32
TESIS DE GRADO: UNIONES ESTRUCTURALES CLAVADAS CON MADERA PASHACO ( <i>ALBIZZIA SP.</i> ) – A. CORRALES PORRAS, 2018. (PROBETAS CON 6 CLAVOS).	0.36
TESIS DE GRADO: UNIONES ESTRUCTURALES CLAVADAS CON MADERA PASHACO ( <i>ALBIZZIA SP.</i> ) – A. CORRALES PORRAS, 2018. (PROBETAS CON 8 CLAVOS).	0.34
TESIS DE GRADO: DESARROLLO Y EVALUACIÓN DEL TRATAMIENTO TÉRMICO PARA LAS MADERAS COMERCIALES PERUANAS DE ALTA Y BAJA DENSIDAD “CAPIRONA” Y “PASHACO” – J. VALDIVIA ALCCA, 2021.	0.32

### 4.5.2 Propiedades tecnológicas del Pashaco

En la tabla N° 5 se presentan las propiedades físicas de la madera Pashaco obtenidas del estudio “Propiedades tecnológicas y usos de la madera de 40 especies del bosque Alexander Von Humboldt” de los autores Antonio Aróstegui, Víctor González y Alberto Sato.

Tabla N° 5. Propiedades tecnológicas de la especie Pashaco

Fuente: Revista Forestal del Perú

PROPIEDADES EN PROBETAS LIBRES DE DEFECTOS DE LA MADERA PASHACO ( <i>Albizzia sp.</i> )	PROPIEDADES TECNOLÓGICAS Y USOS DE LA MADERA DE 40 ESPECIES DEL BOSQUE NACIONAL ALEXANDER VON HUMBOLDT		
	PROMEDIO	DESV. ESTÁNDAR	COEF. VARIACIÓN
<b>PROPIEDADES POR FLEXIÓN ESTÁTICA</b>			
ESFUERZO AL LÍMITE PROPORCIONAL (ELP) kg/cm <sup>2</sup>	309	193	71
MÓDULO DE ROTURA (MOR) kg/cm <sup>2</sup>	508	316	71

PROPIEDADES EN PROBETAS LIBRES DE DEFECTOS DE LA MADERA PASHACO ( <i>Albizzia sp.</i> )	PROPIEDADES TECNOLÓGICAS Y USOS DE LA MADERA DE 40 ESPECIES DEL BOSQUE NACIONAL ALEXANDER VON HUMBOLDT		
	PROMEDIO	DESV. ESTÁNDAR	COEF. VARIACIÓN
MÓDULO DE ELASTICIDAD (MOE) kg/cm <sup>2</sup>	91 600	52 000	64
<b>PROPIEDADES POR COMPRESIÓN PARALELA</b>			
ESFUERZO AL LÍMITE PROPORCIONAL (ELP) kg/cm <sup>2</sup>	238	132	63
MÓDULO DE ROTURA (MOR) kg/cm <sup>2</sup>	273	144	60
MÓDULO DE ELASTICIDAD (MOE) kg/cm <sup>2</sup>	110 700	63 000	65
<b>PROPIEDADES POR COMPRESIÓN PERPENDICULAR</b>			
ESFUERZO AL LÍMITE PROPORCIONAL (ELP) kg/cm <sup>2</sup>	55	41	84
<b>DUREZA</b>			
EXTREMOS kg/cm <sup>2</sup>	335	223	76
LADOS kg/cm <sup>2</sup>	334	301	102
<b>CORTE</b>			
CORTE kg/cm <sup>2</sup>	82	40	79
<b>CLIVAJE</b>			
CLIVAJE EN kg/cm <sup>2</sup> DE ANCHO	49	34	112
<b>TRACCIÓN PERPENDICULAR</b>			
TRACCIÓN PERPENDICULAR EN kg/cm <sup>2</sup>	46	20	71
<b>TENACIDAD</b>			
TENACIDAD EN kg.m	2.8	2.4	193
<b>EXTRACCIÓN DE CLAVOS</b>			
EXTREMOS EN kg X CLAVO	82	60	83
LADOS EN kg X CLAVO	112	80	82

#### 4.5.3 Secado del Pashaco (*Albizzia sp.*)

En la tabla N° 6 se presentan los resultados del secado natural y secado artificial obtenidos en el estudio “Propiedades tecnológicas y usos de la madera de 40 especies del bosque Alexander Von Humboldt” de los autores Antonio Aróstegui, Víctor González y Alberto Sato.

Tabla N° 6. Secado Natural y Artificial del Pashaco (*Albizzia sp.*).

Fuente: Revista Forestal del Perú

PROPIEDADES TECNOLÓGICAS Y USOS DE LA MADERA DE 40 ESPECIES DEL BOSQUE NACIONAL ALEXANDER VON HUMBOLDT						
SECADO NATURAL						
ESPECIE	CONTENIDO DE HUMEDAD CH %		TIEMPO DE SECADO - DIAS	DEFECTOS DE FORMA	MANCHAS	
	INICIAL	FINAL				
PASHACO BLANCO	70	13	110	Ninguna	Ninguna	
SECADO ARTIFICIAL						
ESPECIE	PROGRAMA DE SECADO			COMPORTAMIENTO		
	SUAVE	MODERADO	FUERTE	BUENO	REGULAR	MALO
PASHACO BLANCO	-	SI	-	SI	-	-

#### 4.6 Usos de la madera Pashaco

De acuerdo con el Compendio de información técnica de 32 especies forestales – Tomo II de la Confederación Peruana de la Madera (2008), la madera Pashaco se puede utilizar para carpintería interior o mobiliario, cajonería, contrachapeado, (pliegues interiores), juguetes, maquetas y tornería.

## CAPÍTULO V: MÉTODOS Y NORMAS PARA DETERMINAR LOS ESFUERZOS ADMISIBLES DE LA MADERA

### 5.1 NTP 251.010 MADERA. Métodos para determinar el contenido de humedad

Esta norma se utilizó para determinar el contenido de humedad de las probetas ensayadas en el laboratorio. De acuerdo a la norma, se utilizó el método A, el cual, fue diseñado para fines de investigación donde la máxima precisión es requerida.

Los equipos utilizados fueron:

- Horno a  $(103 \pm 2)$  °C.



Figura N° 8. Horno eléctrico.

Fuente: Laboratorio de ensayo de materiales UNI-FIC

- Balanza de precisión



Figura N° 9. Balanza de precisión.

Fuente: Laboratorio de ensayo de materiales UNI-FIC

## 5.2 NTP 251.013 MADERA. Método para determinar el cizallamiento paralelo al grano

Norma técnica utilizada para hallar la resistencia al corte. Se utilizaron probetas de 5 cm x 5 cm x 6.5 cm recortadas como se muestra en la figura N° 10.



Figura N° 10. Probeta de corte paralelo al grano.

Fuente: Elaboración propia

Los equipos utilizados fueron:

- Máquina de ensayos universales
- Accesorio para sujeción de probeta a ensayar



Figura N° 11. Ensayo de corte paralelo al grano.

Fuente: Laboratorio de ensayo de materiales UNI-FIC

### 5.3 NTP 251.014 MADERA. Método para determinar la compresión axial o paralela al grano.

Norma técnica utilizada para calcular la resistencia a la compresión axial en probetas de 5 cm x 5 cm de sección transversal y 20 cm de longitud.

Los equipos utilizados fueron:

- Máquina de ensayos universales
- Transductor de desplazamiento lineal variable (LVDT)



Figura N° 12. Ensayo de compresión axial

Fuente: Laboratorio de ensayo de materiales UNI-FIC

### 5.4 NTP 251.016 MADERA. Método para determinar la compresión perpendicular al grano

Norma técnica utilizada para calcular la resistencia a la compresión perpendicular en probetas de 5 cm x 5 cm de sección transversal y 15 cm de longitud.

Los equipos utilizados fueron:

- Máquina de ensayos universales
- Pieza metálica de presión
- Transductor de desplazamiento lineal variable (LVDT)



Figura N° 13. Ensayo de compresión perpendicular al grano

Fuente: Laboratorio de ensayo de materiales UNI-FIC

### 5.5 NTP 251.085 MADERA. Determinación de la tensión paralela a las fibras

Norma técnica utilizada para calcular la resistencia a la tracción en probetas de 45 cm de longitud, sección cuadrada de 2.5 cm x 2.5 cm en sus extremos y sección circular intermedia de 1.5 cm de diámetro.

Para este ensayo se utilizó la máquina de ensayos universales.



Figura N° 14. Ensayo de tracción paralela a las fibras

Fuente: Laboratorio de ensayo de materiales UNI-FIC

## CAPÍTULO VI: ENSAYOS EN LA MADERA PASHACO

### 6.1 Colección de muestras

#### 6.1.1 Procedencia de las Muestras

La madera Pashaco (*Albizzia sp.*) utilizada para la elaboración de la presente tesis fue obtenida en las madereras “P&D Inversiones e Importaciones S.A.C.” y “V& Maderas S.A.C.” ubicadas en el distrito de San Juan de Lurigancho – Lima. Para las labores de identificación de la madera Pashaco (*Albizzia sp.*) se contó con la supervisión del técnico forestal David Huamán y el asesoramiento del ingeniero forestal Manuel Chavesta Custodio. Se obtuvo la madera por tablones de distintos proveedores y con intervalos de tiempo de aproximadamente 3 semanas entre cada compra, de esta manera nos aseguramos que pertenezcan a distintos lotes y a su vez, distintos árboles. A cada muestra se le colocó un código para poder identificar a cuál árbol pertenecía.



Figura N° 15. Recolección de muestras de la madera Pashaco (*Albizzia sp.*)

Fuente: Elaboración propia

#### 6.1.2 Preparación de las Muestras

Una vez realizada la compra, se procedió a cortar la madera en listones de aproximadamente 6.50 cm x 6.50 cm y listones de 3.50 cm x 3.50 cm para realizar el secado de la madera al aire.



Figura N° 16. Proceso de corte de la madera aserrada.

Fuente: Elaboración propia

La finalidad de secar la madera al aire es contar con un contenido de humedad dentro de los rangos establecidos para uso estructural (de acuerdo a la norma técnica NTP 251.014, es mínimo del 10% y máximo del 22%); la madera recién comprada contenía valores de contenido de humedad entre 25% y 33% por lo que se tomaron las recomendaciones de los especialistas en ciencias forestales para apilar la madera y dejar secar al aire por un tiempo aproximado de 2 meses.



Figura N° 17. Apilamiento de la madera Pashaco.

Fuente: Elaboración propia

Luego de dicho período se obtuvo un contenido de humedad variable entre 14% y 17%, las medidas de contenido de humedad se realizaron con un equipo medidor de humedad portátil, con lo cual ya se podrían preparar las probetas para ensayos en laboratorio. Todos los listones fueron llevados al taller de carpintería de la empresa “Amoblados y Decoraciones Urday” ubicado en el sector de Barrios Altos del distrito de Cercado de Lima para proceder a la preparación de probetas según las normas técnicas vigentes.



Figura N° 18. Medida de contenido de humedad

Fuente: Elaboración propia



Figura N° 19. Madera Pashaco en taller de carpintería para preparación de probetas.

Fuente: Elaboración propia



*Figuras N° 20. Probetas de madera Pashaco.*

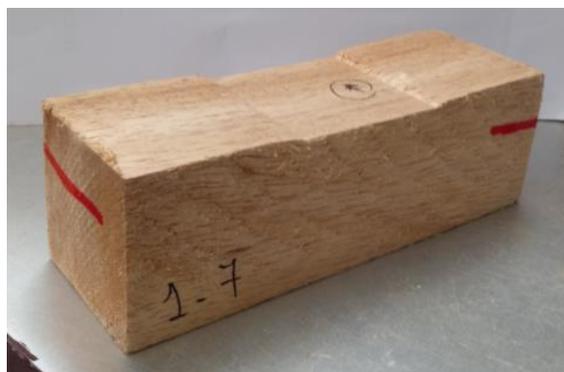
*Fuente: Elaboración propia*

### **6.1.3 Codificación de las probetas**

El código utilizado para la identificación de las probetas tiene la forma X.Y, donde:

- X: representa el árbol de procedencia.
- Y: representa el número de probeta.

Por ejemplo, en la figura N° 21 se puede apreciar que la probeta 1.7 proviene del árbol N° 01 y es la séptima probeta de dicho árbol en ser ensayada a compresión perpendicular.



*Figuras N° 21. Probeta 1.7 para compresión perpendicular.*

*Fuente: Elaboración propia*

## 6.2 Ensayos en probetas

### 6.2.1. Compresión paralela al grano

Para la elaboración de los ensayos se siguió lo establecido en la norma técnica NTP 251.014 Método para determinar la compresión axial o paralela al grano. Se utilizaron las instalaciones del Laboratorio N° 1 de Ensayo de Materiales de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Ingeniería y equipos con todas las medidas de seguridad indicadas por el personal técnico de laboratorio.

Una vez realizado los ensayos de compresión paralela al grano se procedió a hallar el contenido de humedad de cada una de las probetas.

Equipos:

- Máquina de Ensayos Universal Zwick Roell
- Horno (Estufa Eléctrica)
- Balanza de precisión con medida en gramos y precisión  $\pm 0.1$  gramos.



Figura N° 22. Ensayo de Compresión Paralela al Grano

Fuente: Elaboración propia



Figura N° 23. Muestras de probeta en el horno para hallar el contenido de humedad del ensayo de Compresión Paralela al Grano

Fuente: Elaboración propia

En la siguiente tabla se muestran las dimensiones de las probetas medidas en el laboratorio y el cálculo del área de la sección transversal de cada probeta ensayada.

Tabla N° 7. Dimensiones de las probetas para el ensayo de compresión paralela al grano.

N°	PROBETA	ESPESOR (cm)	ANCHO (cm)	ÁREA (cm <sup>2</sup> )	LUZ (cm)
1	1.1	5.001	4.993	24.97	20.00
2	1.2	5.001	4.964	24.82	20.00
3	1.3	5.001	4.978	24.89	20.00
4	1.4	4.880	4.934	24.08	20.05
5	1.5	4.982	4.864	24.23	20.10
6	1.6	5.004	5.039	25.22	20.10
7	1.7	5.004	4.954	24.79	20.10
8	1.8	4.891	4.899	23.96	20.05
9	2.1	4.969	4.941	24.55	20.10
10	2.2	4.965	4.971	24.68	20.05
11	2.3	4.864	4.859	23.63	20.15
12	2.4	4.876	4.968	24.22	20.05
13	2.5	4.911	4.946	24.29	20.00
14	2.6	5.02	5.014	25.17	20.10
15	2.7	5.014	5.117	25.66	20.05

N°	PROBETA	ESPESOR (cm)	ANCHO (cm)	ÁREA (cm <sup>2</sup> )	LUZ (cm)
16	2.8	4.974	5.063	25.18	20.05
17	2.9	5.042	4.984	25.13	19.95
18	3.1	5.027	5.042	25.35	20.10
19	3.2	5.025	5.063	25.44	20.00
20*	3.3	4.986	4.900	24.43	19.90
21	3.4	5.029	5.03	25.30	20.00
22	3.5	4.974	4.971	24.73	20.00
23	3.6	5.022	4.94	24.81	20.05
24	3.7	5.029	5.073	25.51	20.00
25	3.8	5.009	4.963	24.86	20.05
26	3.9	5.026	5.029	25.28	19.90
27	4.1	5.003	5.029	25.16	19.90
28	4.2	5.003	5.015	25.09	19.95
29	4.3	4.983	5.021	25.02	19.80
30	4.4	4.971	5.046	25.08	19.90
31	4.5	5.017	5.051	25.34	19.90
32	4.6	4.955	5.002	24.78	20.00
33	4.7	5.034	5.044	25.39	19.90
34	4.8	5.012	5.03	25.21	19.90
35	5.1	4.975	4.942	24.59	19.90
36	5.2	5.042	5.055	25.49	19.95
37	5.3	4.918	5.041	24.79	19.90
38	5.4	5.034	5.04	25.37	19.90
39	5.5	4.992	5.012	25.02	19.90
40	5.6	5.052	5.029	25.41	19.95
41	5.7	5.002	5.052	25.27	19.90

\* La probeta falló por deslizamiento de extremo. Se descarta.

En la siguiente tabla se muestran los valores obtenidos del ensayo de compresión paralela al grano y el cálculo de los valores de Resistencia Máxima y del Esfuerzo Límite Proporcional.

Tabla N° 8. Resultado de Resistencia Máxima (RM) y Esfuerzo Límite Proporcional (ELP) del ensayo de compresión paralela al grano.

N°	PROBETA	ÁREA (cm <sup>2</sup> )	CARGA MÁXIMA (kg)	RESISTENCIA MÁXIMA "RM" (kg/cm <sup>2</sup> )	CARGA AL LÍMITE PROPORCIONAL (kg)	ESFUERZO LÍMITE PROPORCIONAL "ELP" (kg/cm <sup>2</sup> )
1	1.1	24.97	6,345.63	254.13	4,500.46	180.23
2	1.2	24.82	6,659.10	268.24	5,550.87	223.60
3	1.3	24.89	6,599.60	265.10	5,050.93	202.89
4	1.4	24.08	6,800.54	282.44	5,700.10	236.74
5	1.5	24.23	5,954.85	245.74	5,000.79	206.37

N°	PROBETA	ÁREA (cm <sup>2</sup> )	CARGA MÁXIMA (kg)	RESISTENCIA MÁXIMA "RM" (kg/cm <sup>2</sup> )	CARGA AL LÍMITE PROPORCIONAL (kg)	ESFUERZO LÍMITE PROPORCIONAL "ELP" (kg/cm <sup>2</sup> )
6	1.6	25.22	6,412.07	254.29	4,849.78	192.34
7	1.7	24.79	5,819.46	234.75	5,400.80	217.86
8	1.8	23.96	6,386.23	266.53	3,699.66	154.40
9	2.1	24.55	5,818.87	237.00	5,250.90	213.87
10	2.2	24.68	5,270.61	213.55	3,249.57	131.66
11	2.3	23.63	5,788.60	244.92	5,700.60	241.20
12	2.4	24.22	5,564.67	229.72	5,200.50	214.68
13	2.5	24.29	5,533.83	227.83	4,950.03	203.79
14	2.6	25.17	5,908.60	234.75	4,849.56	192.67
15	2.7	25.66	6,055.12	236.01	5,500.62	214.39
16	2.8	25.18	5,872.41	233.19	4,950.82	196.59
17	2.9	25.13	6,922.33	275.47	5,750.57	228.84
18	3.1	25.35	6,134.34	242.02	3,949.99	155.84
19	3.2	25.44	7,242.93	284.69	6,600.81	259.45
20*	3.3	24.43	--	--	--	--
21	3.4	25.30	7,146.76	282.53	6,850.34	270.81
22	3.5	24.73	6,779.87	274.20	5,550.50	224.48
23	3.6	24.81	5,518.74	222.45	4,550.16	183.41
24	3.7	25.51	6,699.82	262.61	5,899.67	231.25
25	3.8	24.86	3,914.57	157.47	3,599.69	144.80
26	3.9	25.28	5,090.30	201.39	4,900.44	193.88
27	4.1	25.16	5,375.95	213.67	4,500.67	178.88
28	4.2	25.09	5,699.27	227.15	4,599.40	183.32
29	4.3	25.02	5,832.24	233.11	4,900.15	195.85
30	4.4	25.08	6,730.83	268.34	3,200.64	127.60
31	4.5	25.34	5,880.60	232.06	4,849.30	191.36
32	4.6	24.78	6,980.01	281.62	4,949.33	199.69
33	4.7	25.39	6,750.83	265.87	6,000.37	236.31
34	4.8	25.21	7,574.50	300.45	6,499.57	257.81
35	5.1	24.59	6,414.43	260.89	5,650.25	229.81
36	5.2	25.49	6,262.02	245.69	6,050.17	237.38
37	5.3	24.79	6,856.35	276.56	6,449.59	260.15
38	5.4	25.37	6,220.13	245.16	5,400.90	212.87
39	5.5	25.02	6,125.62	244.83	3,700.57	147.91
40	5.6	25.41	6,604.82	259.97	6,099.82	240.09
41	5.7	25.27	6,351.66	251.35	5,399.51	213.67
<b>PROMEDIO</b>			<b>6,197.48</b>	<b>248.44</b>	<b>5,132.71</b>	<b>205.72</b>
<b>DESVIACIÓN ESTÁNDAR</b>			<b>683.39</b>	<b>26.89</b>	<b>889.64</b>	<b>35.13</b>
<b>COEFICIENTE DE VARIACIÓN</b>			<b>11.03</b>	<b>10.82</b>	<b>17.33</b>	<b>17.07</b>
<b>PERCENTIL 5%</b>			<b>5,261.59</b>	<b>212.94</b>	<b>3,582.18</b>	<b>144.14</b>
<b>MÁXIMO</b>			<b>7,574.50</b>	<b>300.45</b>	<b>6,850.34</b>	<b>270.81</b>
<b>MÍNIMO</b>			<b>3,914.57</b>	<b>157.47</b>	<b>3,200.64</b>	<b>127.60</b>

\* La probeta falló por deslizamiento de extremo. Se descarta.

De acuerdo con la tabla:

$$RM_{\text{promedio}} = 248.44 \text{ kg/cm}^2$$

$$ELP_{\text{promedio}} = 205.72 \text{ kg/cm}^2$$

$$RM_{\text{mínimo}} = 157.47 \text{ kg/cm}^2$$

$$ELP_{\text{mínimo}} = 127.60 \text{ kg/cm}^2$$

En el siguiente gráfico, se observan los valores de esfuerzo límite proporcional (ELP) del ensayo de compresión paralela al grano en forma ordenada y ascendente, del cual, podemos visualizar que el límite de exclusión del 5% es  $144.14 \text{ kg/cm}^2$ .

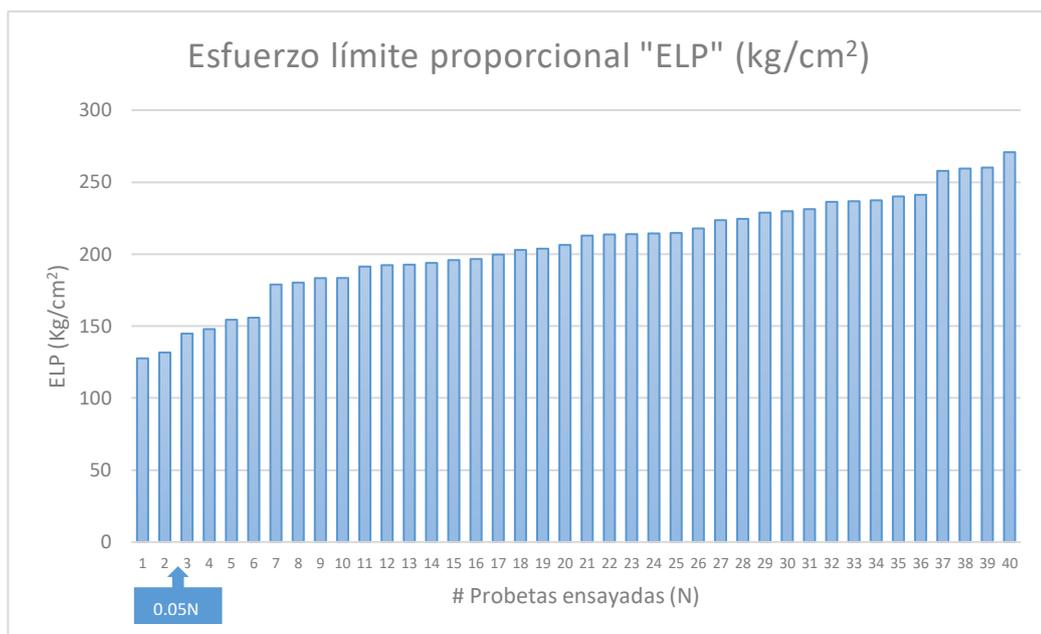


Figura N° 24. Gráfico que identifica el límite de exclusión del esfuerzo límite proporcional a compresión paralela al grano.

De acuerdo con el gráfico:

$$ELP_{\text{percentil 5\%}} = 144.14 \text{ kg/cm}^2$$

En la siguiente tabla se muestran los valores obtenidos del Módulo de Elasticidad, obtenidos del ensayo de compresión paralela al grano.

Tabla N° 9. Resultado de Módulo de Elasticidad (MOE) del ensayo de compresión paralela al grano.

N°	PROBETA	ÁREA (cm <sup>2</sup> )	CARGA AL LÍMITE PROPORCIONAL (kg)	LUZ (cm)	DEFORMACIÓN AL LÍMITE PROPORCIONAL (cm)	MÓDULO DE ELASTICIDAD "MOE" (kg/cm <sup>2</sup> )
1	1.1	24.97	4,500.46	20.00	0.131806	27,348.42
2	1.2	24.82	5,550.87	20.00	0.135241	33,066.99
3	1.3	24.89	5,050.93	20.00	0.135055	30,045.55
4	1.4	24.08	5,700.10	20.05	0.171138	27,735.16
5	1.5	24.23	5,000.79	20.10	0.182317	22,751.57
6	1.6	25.22	4,849.78	20.10	0.216170	17,883.85
7	1.7	24.79	5,400.80	20.10	0.168989	25,913.27
8	1.8	23.96	3,699.66	20.05	0.049683	62,311.17
9	2.1	24.55	5,250.90	20.10	0.168547	25,504.99
10	2.2	24.68	3,249.57	20.05	0.040665	64,916.55
11	2.3	23.63	5,700.60	20.15	0.187394	25,935.78
12	2.4	24.22	5,200.50	20.05	0.206294	20,865.48
13	2.5	24.29	4,950.03	20.00	0.137369	29,670.47
14	2.6	25.17	4,849.56	20.10	0.141433	27,381.61
15	2.7	25.66	5,500.62	20.05	0.127755	33,647.29
16	2.8	25.18	4,950.82	20.05	0.133885	29,440.59
17	2.9	25.13	5,750.57	19.95	0.129564	35,236.24
18	3.1	25.35	3,949.99	20.10	0.091838	34,108.32
19	3.2	25.44	6,600.81	20.00	0.118926	43,632.24
20*	3.3	24.43	--	--	--	--
21	3.4	25.30	6,850.34	20.00	0.100933	53,661.07
22	3.5	24.73	5,550.50	20.00	0.182443	24,608.46
23	3.6	24.81	4,550.16	20.05	0.157788	23,305.71
24	3.7	25.51	5,899.67	20.00	0.146012	31,675.44
25	3.8	24.86	3,599.69	20.05	0.166155	17,473.11
26	3.9	25.28	4,900.44	19.90	0.038111	101,236.50
27	4.1	25.16	4,500.67	19.90	0.150150	23,707.93
28	4.2	25.09	4,599.40	19.95	0.092178	39,674.90
29	4.3	25.02	4,900.15	19.80	0.131965	29,385.70
30	4.4	25.08	3,200.64	19.90	0.024048	105,591.06
31	4.5	25.34	4,849.30	19.90	0.164060	23,211.80
32	4.6	24.78	4,949.33	20.00	0.066161	60,365.34
33	4.7	25.39	6,000.37	19.90	0.189126	24,865.20
34	4.8	25.21	6,499.57	19.90	0.058711	87,385.61
35	5.1	24.59	5,650.25	19.90	0.065554	69,763.30
36	5.2	25.49	6,050.17	19.95	0.114208	41,465.79
37	5.3	24.79	6,449.59	19.90	0.108019	47,926.86
38	5.4	25.37	5,400.90	19.90	0.143370	29,547.30
39	5.5	25.02	3,700.57	19.90	0.023381	125,887.40

N°	PROBETA	ÁREA (cm <sup>2</sup> )	CARGA AL LÍMITE PROPORCIONAL (kg)	LUZ (cm)	DEFORMACIÓN AL LÍMITE PROPORCIONAL (cm)	MÓDULO DE ELASTICIDAD "MOE" (kg/cm <sup>2</sup> )
40	5.6	25.41	6,099.82	19.95	0.073921	64,795.93
41	5.7	25.27	5,399.51	19.90	0.129489	32,837.38
<b>PROMEDIO</b>			<b>5,132.71</b>	<b>19.99</b>	<b>0.124996</b>	<b>41,894.18</b>
<b>DESVIACIÓN ESTÁNDAR</b>			<b>889.64</b>	<b>0.08</b>	<b>0.050657</b>	<b>25,652.23</b>
<b>COEFICIENTE DE VARIACIÓN</b>			<b>17.33</b>	<b>0.41</b>	<b>40.53</b>	<b>61.23</b>
<b>PERCENTIL 5%</b>			<b>3,582.18</b>	<b>19.90</b>	<b>0.037408</b>	<b>20,716.40</b>
<b>MÁXIMO</b>			<b>6,850.34</b>	<b>20.15</b>	<b>0.216170</b>	<b>125,887.40</b>
<b>MÍNIMO</b>			<b>3,200.64</b>	<b>19.80</b>	<b>0.023381</b>	<b>17,473.11</b>

\* La probeta falló por deslizamiento de extremo. Se descarta.

De acuerdo con la tabla:

$$MOE_{\text{promedio}} = 41,894.18 \text{ kg/cm}^2$$

$$MOE_{\text{mínimo}} = 17,473.11 \text{ kg/cm}^2$$

En la siguiente tabla se muestran los valores obtenidos del Contenido de Humedad, obtenidos del ensayo de compresión paralela al grano.

Tabla N° 10. Resultado de Contenido de Humedad (CH) del ensayo de compresión paralela al grano.

N°	PROBETA	PESO (g)	PESO SECO AL HORNO (g)	C.H. %
1	1.1	30.80	26.50	16.23%
2	1.2	26.10	22.80	14.47%
3	1.3	32.30	27.90	15.77%
4	1.4	28.40	24.70	14.98%
5	1.5	27.10	23.50	15.32%
6	1.6	27.40	23.70	15.61%
7	1.7	29.90	26.00	15.00%
8	1.8	27.40	23.80	15.13%
9	2.1	27.00	23.20	16.38%
10	2.2	24.90	21.50	15.81%
11	2.3	26.30	22.70	15.86%
12	2.4	25.60	22.20	15.32%
13	2.5	24.50	21.30	15.02%
14	2.6	26.70	23.10	15.58%
15	2.7	27.00	23.30	15.88%
16	2.8	26.40	22.90	15.28%
17	2.9	33.10	28.70	15.33%
18	3.1	24.50	21.40	14.49%

N°	PROBETA	PESO (g)	PESO SECO AL HORNO (g)	C.H. %
19	3.2	33.80	29.30	15.36%
20*	3.3	--	--	--
21	3.4	34.20	29.50	15.93%
22	3.5	27.60	24.20	14.05%
23	3.6	25.60	22.40	14.29%
24	3.7	26.40	23.20	13.79%
25	3.8	26.00	22.70	14.54%
26	3.9	27.50	24.00	14.58%
27	4.1	25.30	22.00	15.00%
28	4.2	24.60	21.50	14.42%
29	4.3	27.80	24.20	14.88%
30	4.4	30.60	26.30	16.35%
31	4.5	26.20	22.90	14.41%
32	4.6	30.00	25.90	15.83%
33	4.7	33.50	29.10	15.12%
34	4.8	36.40	31.30	16.29%
35	5.1	32.20	27.90	15.41%
36	5.2	31.80	27.40	16.06%
37	5.3	33.90	29.20	16.10%
38	5.4	34.40	29.50	16.61%
39	5.5	31.80	27.50	15.64%
40	5.6	31.70	27.30	16.12%
41	5.7	32.00	27.60	15.94%
<b>PROMEDIO</b>				<b>15.35%</b>
<b>DESVIACIÓN ESTÁNDAR</b>				<b>0.71%</b>
<b>COEFICIENTE DE VARIACIÓN</b>				<b>4.62</b>
<b>PERCENTIL 5%</b>				<b>14.27%</b>
<b>MÁXIMO</b>				<b>16.61%</b>
<b>MÍNIMO</b>				<b>13.79%</b>

\* La probeta falló por deslizamiento de extremo. Se descarta.

De acuerdo con la tabla:

$$CH_{\text{promedio}} = 15.35\%$$

En la siguiente tabla se muestran los valores de Esfuerzo límite proporcional (ELP) VS el Contenido de Humedad obtenido en cada probeta.

Tabla N° 11: Resultados de esfuerzo límite proporcional y contenido de humedad del ensayo de compresión paralela al grano.

N°	PROBETA	ESFUERZO LÍMITE PROPORCIONAL (kg/cm <sup>2</sup> )	C.H. %
1	1.1	180.23	16.23%
2	1.2	223.60	14.47%
3	1.3	202.89	15.77%
4	1.4	236.74	14.98%
5	1.5	206.37	15.32%
6	1.6	192.34	15.61%
7	1.7	217.86	15.00%
8	1.8	154.40	15.13%
9	2.1	213.87	16.38%
10	2.2	131.66	15.81%
11	2.3	241.20	15.86%
12	2.4	214.68	15.32%
13	2.5	203.79	15.02%
14	2.6	192.67	15.58%
15	2.7	214.39	15.88%
16	2.8	196.59	15.28%
17	2.9	228.84	15.33%
18	3.1	155.84	14.49%
19	3.2	259.45	15.36%
20*	3.3	--	--
21	3.4	270.81	15.93%
22	3.5	224.48	14.05%
23	3.6	183.41	14.29%
24	3.7	231.25	13.79%
25	3.8	144.80	14.54%
26	3.9	193.88	14.58%
27	4.1	178.88	15.00%
28	4.2	183.32	14.42%
29	4.3	195.85	14.88%
30	4.4	127.60	16.35%
31	4.5	191.36	14.41%
32	4.6	199.69	15.83%
33	4.7	236.31	15.12%
34	4.8	257.81	16.29%
35	5.1	229.81	15.41%
36	5.2	237.38	16.06%
37	5.3	260.15	16.10%
38	5.4	212.87	16.61%

N°	PROBETA	ESFUERZO LÍMITE PROPORCIONAL (kg/cm <sup>2</sup> )	C.H. %
39	5.5	147.91	15.64%
40	5.6	240.09	16.12%
41	5.7	213.67	15.94%
<b>PROMEDIO</b>		<b>205.72</b>	<b>15.35%</b>
<b>DESVIACIÓN ESTÁNDAR</b>		<b>35.13</b>	<b>0.71%</b>
<b>COEFICIENTE DE VARIACIÓN</b>		<b>17.07</b>	<b>4.62</b>
<b>PERCENTIL 5%</b>		<b>144.14</b>	<b>14.27%</b>
<b>MÁXIMO</b>		<b>270.81</b>	<b>16.61%</b>
<b>MÍNIMO</b>		<b>127.60</b>	<b>13.79%</b>

\* La probeta falló por deslizamiento de extremo. Se descarta.

Con los resultados experimentales de la tabla N° 11, se puede apreciar la variación del esfuerzo límite proporcional con respecto al contenido de humedad de cada probeta. Esta variación se aprecia en las figuras N° 25, N° 26, N° 27, N° 28, N° 29 y N° 30 con el gráfico de “contenido de humedad” VS “esfuerzo límite proporcional” para cada árbol y finalmente para el conjunto total de las muestras.

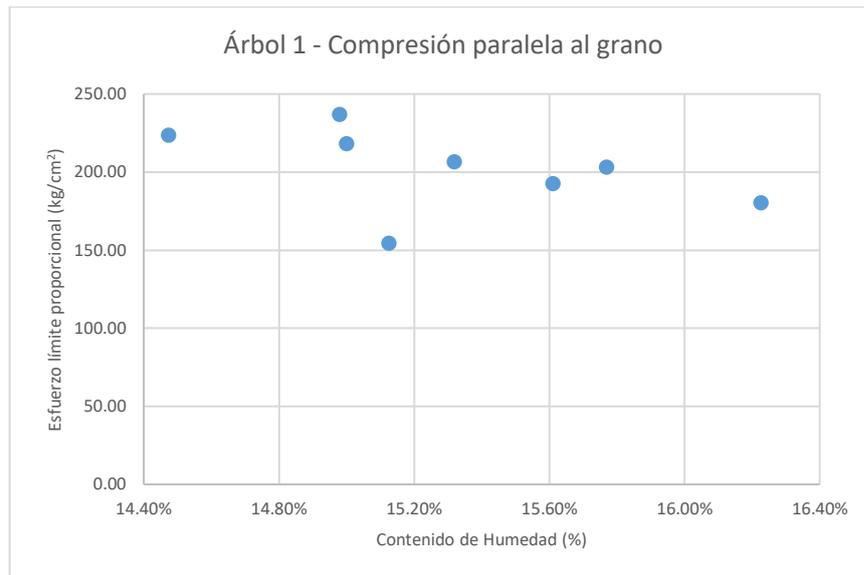


Figura N° 25. Variación de esfuerzo límite proporcional a compresión paralela al grano con respecto al contenido de humedad – Pashaco – Árbol 1.

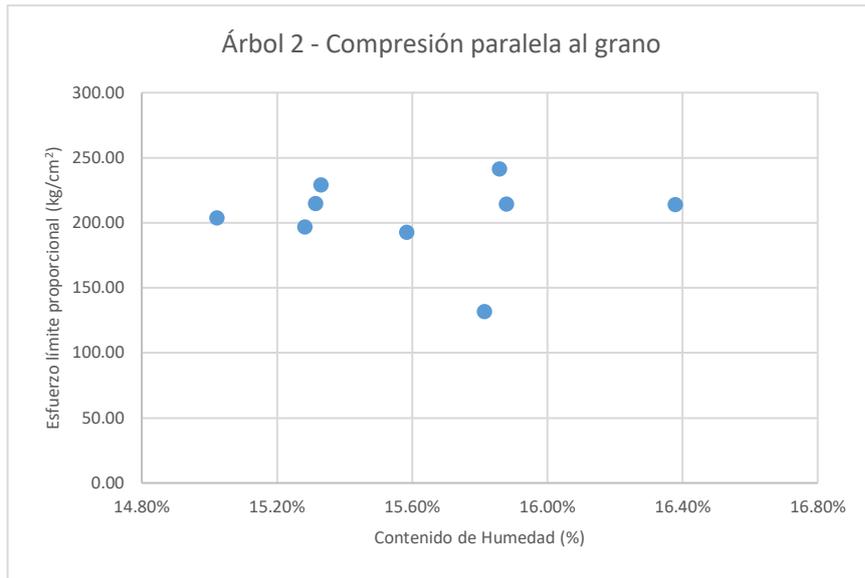


Figura N° 26. Variación de esfuerzo límite proporcional a compresión paralela al grano con respecto al contenido de humedad – Pashaco – Árbol 2.

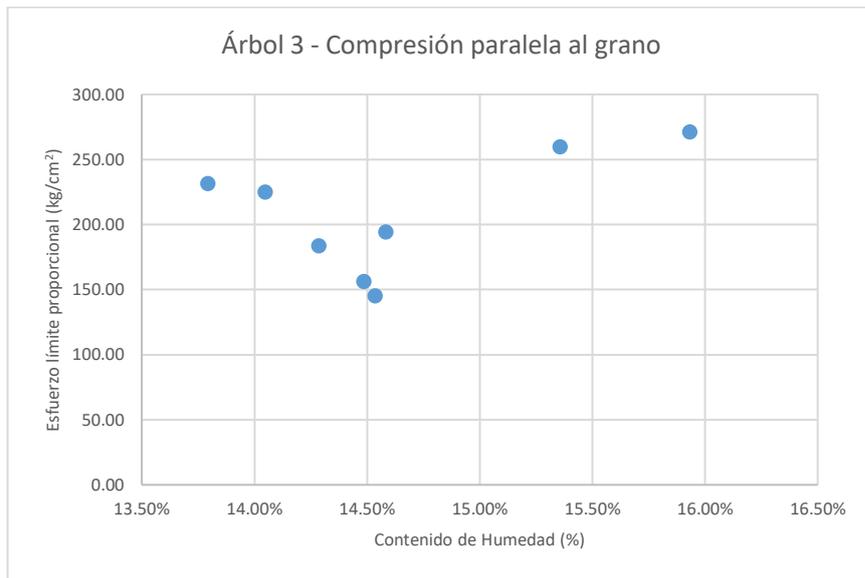


Figura N° 27. Variación de esfuerzo límite proporcional a compresión paralela al grano con respecto al contenido de humedad – Pashaco – Árbol 3.

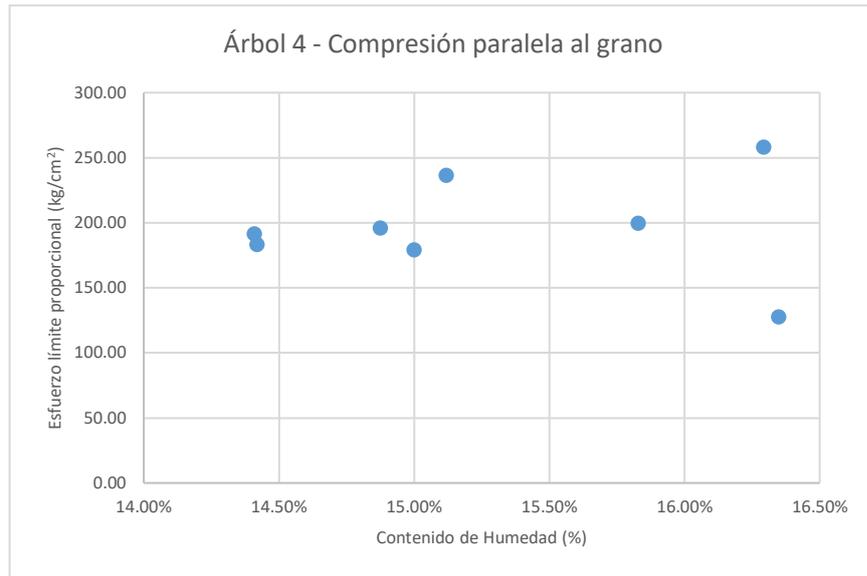


Figura N° 28. Variación de esfuerzo límite proporcional a compresión paralela al grano con respecto al contenido de humedad – Pashaco – Árbol 4.

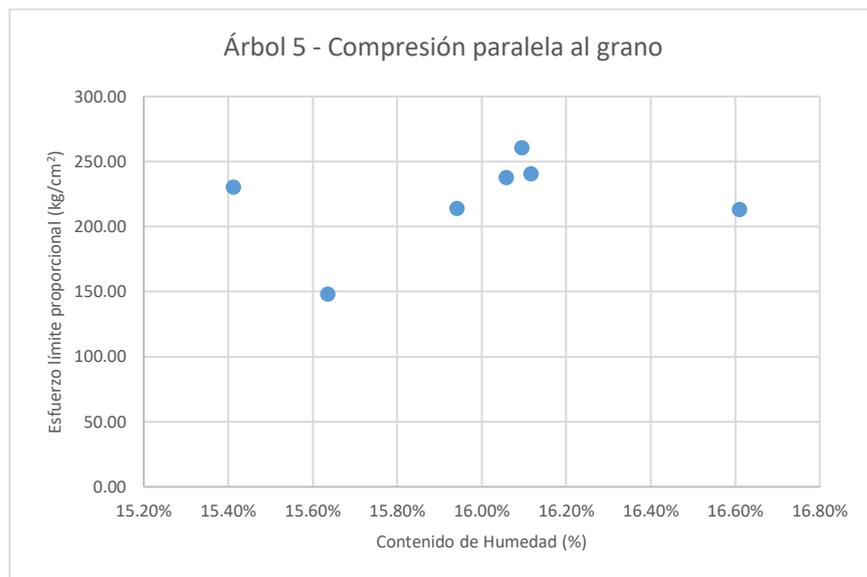


Figura N° 29. Variación de esfuerzo límite proporcional a compresión paralela al grano con respecto al contenido de humedad – Pashaco – Árbol 5.

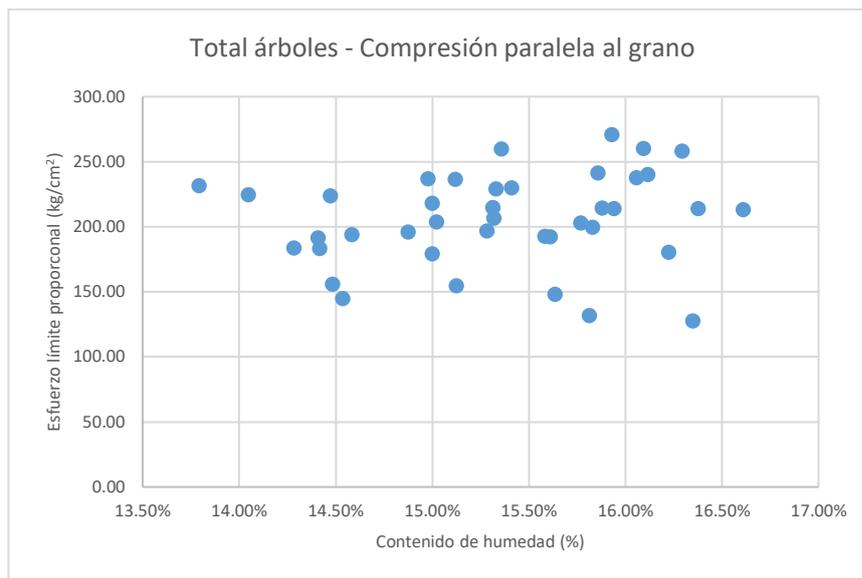


Figura N° 30. Variación de esfuerzo límite proporcional a compresión paralela al grano con respecto al contenido de humedad – Pashaco – Total árboles.

Finalmente, se obtienen los siguientes resultados promedio:

Tabla N° 12: Resultados promedio del ensayo de compresión paralela al grano.

RESISTENCIA MÁXIMA (kg/cm <sup>2</sup> )	ESFUERZO LÍMITE PROPORCIONAL (kg/cm <sup>2</sup> )	MÓDULO DE ELASTICIDAD (kg/cm <sup>2</sup> )	C.H. %
248.44	205.72	41,894.18	15.35%

### 6.2.2 Compresión perpendicular al grano

Para la elaboración de los ensayos se siguió lo establecido en la norma técnica NTP 251.016 Método para determinar la compresión perpendicular al grano. Se utilizaron las instalaciones del Laboratorio N° 1 de Ensayo de Materiales de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Ingeniería y equipos con todas las medidas de seguridad indicadas por el personal técnico de laboratorio.

Una vez realizado los ensayos de compresión perpendicular al grano se procedió a hallar el contenido de humedad de cada una de las probetas.

Equipos:

- Máquina de Ensayos Universal Zwick Roell
- Horno (Estufa Eléctrica)

- Balanza de precisión con medida en gramos y precisión  $\pm 0.1$  gramos.



Figura N° 31. Ensayo de Compresión Perpendicular al Grano

Fuente: Elaboración propia



Figura N° 32. Muestras de probeta en el horno para hallar el contenido de humedad del ensayo de Compresión perpendicular al grano.

Fuente: Elaboración propia

En la siguiente tabla se muestran los valores obtenidos del ensayo de compresión perpendicular al grano y el cálculo de los valores de Esfuerzo Límite Proporcional.

Tabla N° 13. Resultado de Esfuerzo Límite Proporcional (ELP) del ensayo de compresión perpendicular al grano.

N°	PROBETA	ANCHO B (cm)	ANCHO DE LA PLACA (cm)	ÁREA (cm <sup>2</sup> )	CARGA AL LÍMITE PROPORCIONAL (kg)	ESFUERZO LÍMITE PROPORCIONAL (kg/cm <sup>2</sup> )
1	1.1	5.017	5.05	25.34	1,150.00	45.39
2	1.2	5.058	5.05	25.54	1,200.25	46.99
3	1.3	5.003	5.05	25.27	1,150.11	45.52
4	1.4	5.035	5.05	25.43	1,100.11	43.27
5	1.5	5.055	5.05	25.53	1,150.10	45.05
6	1.6	5.03	5.05	25.40	1,200.23	47.25
7	1.7	5.024	5.05	25.37	1,150.01	45.33
8	1.8	5.02	5.05	25.35	1,250.05	49.31
9	2.1	5.021	5.05	25.36	950.03	37.47
10	2.2	5.029	5.05	25.40	950.09	37.41
11	2.3	5.03	5.05	25.40	1,000.18	39.37
12	2.4	5.034	5.05	25.42	900.04	35.40
13	2.5	5.001	5.05	25.26	900.08	35.64
14	2.6	5.069	5.05	25.60	900.05	35.16
15	2.7	5.045	5.05	25.48	950.55	37.31
16	2.8	5.037	5.05	25.44	900.02	35.38
17	3.1	5.034	5.05	25.42	949.95	37.37
18	3.2	5.105	5.05	25.78	850.02	32.97
19	3.3	5.024	5.05	25.37	950.02	37.44
20	3.4	5.034	5.05	25.42	850.08	33.44
21	3.5	5.007	5.05	25.29	900.24	35.60
22	3.6	5.067	5.05	25.59	450.34	17.60
23	3.7	5.054	5.05	25.52	498.89	19.55
24	3.8	5.097	5.05	25.74	450.22	17.49
25	4.1	5.026	5.05	25.38	3,700.11	145.78
26	4.2	5.002	5.05	25.26	2,599.96	102.93
27	4.3	5.001	5.05	25.26	2,500.23	99.00
28	4.4	4.994	5.05	25.22	3,000.28	118.97
29	4.5	5.062	5.05	25.56	1,899.97	74.32
30	4.6	5.028	5.05	25.39	1,599.42	62.99
31	4.7	5.074	5.05	25.62	1,850.71	72.23
32	4.8	5.025	5.05	25.38	2,200.05	86.70
33	5.1	5.054	5.05	25.52	2,300.35	90.13
34	5.2	5.052	5.05	25.51	1,400.02	54.88
35	5.3	5.054	5.05	25.52	1,000.45	39.20
36	5.4	4.917	5.05	24.83	1,049.95	42.28
37	5.5	4.906	5.05	24.78	1,500.30	60.56
38	5.6	5.109	5.05	25.80	1,050.42	40.71

N°	PROBETA	ANCHO B (cm)	ANCHO DE LA PLACA (cm)	ÁREA (cm <sup>2</sup> )	CARGA AL LÍMITE PROPORCIONAL (kg)	ESFUERZO LÍMITE PROPORCIONAL (kg/cm <sup>2</sup> )
39	5.7	5.125	5.05	25.88	1,650.19	63.76
40	5.8	5.065	5.05	25.58	1,000.21	39.10
<b>PROMEDIO</b>					<b>1,325.11</b>	<b>52.16</b>
<b>DESVIACIÓN ESTÁNDAR</b>					<b>696.92</b>	<b>27.54</b>
<b>COEFICIENTE DE VARIACIÓN</b>					<b>52.59</b>	<b>52.80</b>
<b>PERCENTIL 5%</b>					<b>496.46</b>	<b>19.45</b>
<b>MÁXIMO</b>					<b>3,700.11</b>	<b>145.78</b>
<b>MÍNIMO</b>					<b>450.22</b>	<b>17.49</b>

De acuerdo con la tabla:

$$ELP_{\text{promedio}} = 52.16 \text{ kg/cm}^2$$

$$ELP_{\text{mínimo}} = 17.49 \text{ kg/cm}^2$$

En el siguiente gráfico, se observan los valores de esfuerzo límite proporcional (ELP) del ensayo de compresión perpendicular al grano en forma ordenada y ascendente, del cual, podemos visualizar que el límite de exclusión del 5% es 19.45 kg/cm<sup>2</sup>.

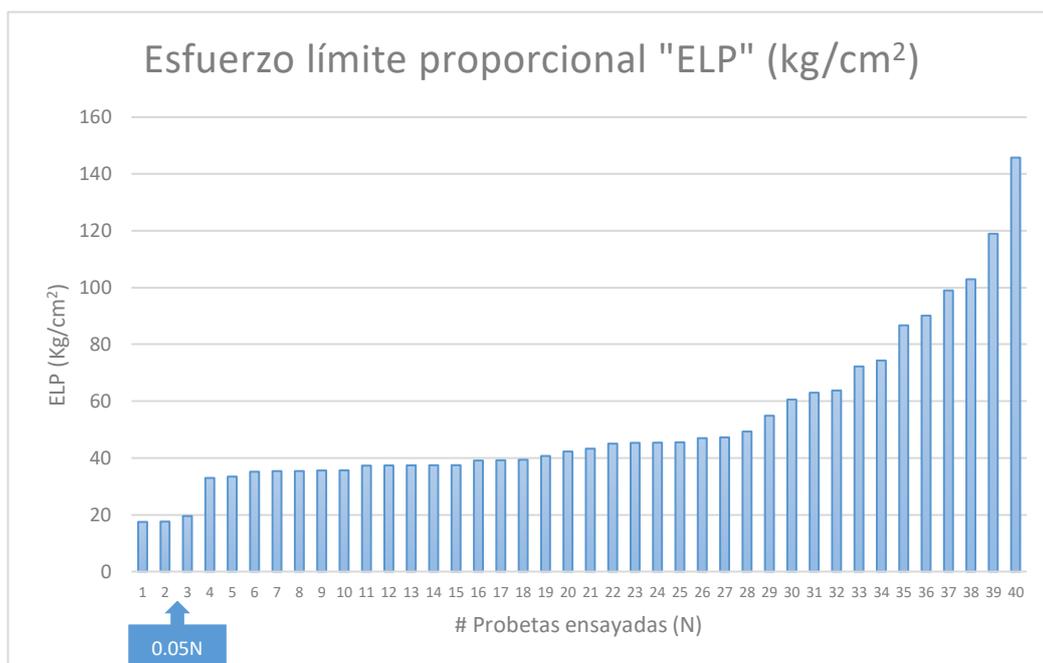


Figura N° 33. Gráfico que identifica el límite de exclusión del esfuerzo límite proporcional a compresión perpendicular al grano.

De acuerdo con el gráfico:

$$ELP_{\text{percentil } 5\%} = 19.45 \text{ kg/cm}^2$$

En la siguiente tabla se muestran los valores obtenidos del Contenido de Humedad, obtenidos del ensayo de compresión perpendicular al grano.

Tabla N° 14. Resultado de Contenido de Humedad (CH) del ensayo de compresión perpendicular al grano.

N°	PROBETA	PESO (g)	PESO SECO AL HORNO (g)	C.H. %
1	1.1	25.00	21.80	14.68%
2	1.2	26.40	23.00	14.78%
3	1.3	24.10	21.10	14.22%
4	1.4	25.30	22.20	13.96%
5	1.5	26.50	23.10	14.72%
6	1.6	25.00	21.80	14.68%
7	1.7	27.40	23.70	15.61%
8	1.8	29.00	25.10	15.54%
9	2.1	24.20	21.10	14.69%
10	2.2	23.30	20.40	14.22%
11	2.3	22.20	19.40	14.43%
12	2.4	25.40	22.10	14.93%
13	2.5	24.80	21.60	14.81%
14	2.6	22.30	19.50	14.36%
15	2.7	25.70	22.50	14.22%
16	2.8	22.30	19.50	14.36%
17	3.1	25.30	22.00	15.00%
18	3.2	26.10	22.70	14.98%
19	3.3	24.40	21.20	15.09%
20	3.4	24.30	21.20	14.62%
21	3.5	27.30	23.90	14.23%
22	3.6	23.80	20.80	14.42%
23	3.7	25.70	22.30	15.25%
24	3.8	24.90	21.60	15.28%
25	4.1	38.70	33.10	16.92%
26	4.2	40.20	34.30	17.20%
27	4.3	41.10	34.70	18.44%
28	4.4	41.80	35.60	17.42%
29	4.5	30.30	26.30	15.21%
30	4.6	33.70	29.00	16.21%
31	4.7	33.60	28.90	16.26%
32	4.8	41.20	35.10	17.38%
33	5.1	33.70	29.00	16.21%
34	5.2	31.10	27.00	15.19%

N°	PROBETA	PESO (g)	PESO SECO AL HORNO (g)	C.H. %
35	5.3	33.20	28.60	16.08%
36	5.4	32.20	27.80	15.83%
37	5.5	30.00	25.90	15.83%
38	5.6	28.60	24.80	15.32%
39	5.7	36.10	31.00	16.45%
40	5.8	31.10	26.90	15.61%
<b>PROMEDIO</b>				<b>15.37%</b>
<b>DESVIACIÓN ESTÁNDAR</b>				<b>1.05%</b>
<b>COEFICIENTE DE VARIACIÓN</b>				<b>6.80</b>
<b>PERCENTIL 5%</b>				<b>14.22%</b>
<b>MÁXIMO</b>				<b>18.44%</b>
<b>MÍNIMO</b>				<b>13.96%</b>

De acuerdo con la tabla:

$$CH_{\text{promedio}} = 15.37\%$$

En la siguiente tabla se muestran los valores de Esfuerzo límite proporcional (ELP) VS el Contenido de Humedad obtenido en cada probeta.

Tabla N° 15. Resultados de esfuerzo límite proporcional y contenido de humedad del ensayo de compresión perpendicular al grano.

N°	PROBETA	ESFUERZO LÍMITE PROPORCIONAL (kg/cm <sup>2</sup> )	C.H. %
1	1.1	45.39	14.68%
2	1.2	46.99	14.78%
3	1.3	45.52	14.22%
4	1.4	43.27	13.96%
5	1.5	45.05	14.72%
6	1.6	47.25	14.68%
7	1.7	45.33	15.61%
8	1.8	49.31	15.54%
9	2.1	37.47	14.69%
10	2.2	37.41	14.22%
11	2.3	39.37	14.43%
12	2.4	35.40	14.93%
13	2.5	35.64	14.81%
14	2.6	35.16	14.36%
15	2.7	37.31	14.22%
16	2.8	35.38	14.36%

N°	PROBETA	ESFUERZO LÍMITE PROPORCIONAL (kg/cm <sup>2</sup> )	C.H. %
17	3.1	37.37	15.00%
18	3.2	32.97	14.98%
19	3.3	37.44	15.09%
20	3.4	33.44	14.62%
21	3.5	35.60	14.23%
22	3.6	17.60	14.42%
23	3.7	19.55	15.25%
24	3.8	17.49	15.28%
25	4.1	145.78	16.92%
26	4.2	102.93	17.20%
27	4.3	99.00	18.44%
28	4.4	118.97	17.42%
29	4.5	74.32	15.21%
30	4.6	62.99	16.21%
31	4.7	72.23	16.26%
32	4.8	86.70	17.38%
33	5.1	90.13	16.21%
34	5.2	54.88	15.19%
35	5.3	39.20	16.08%
36	5.4	42.28	15.83%
37	5.5	60.56	15.83%
38	5.6	40.71	15.32%
39	5.7	63.76	16.45%
40	5.8	39.10	15.61%
<b>PROMEDIO</b>		<b>52.16</b>	<b>15.37%</b>
<b>DESVIACIÓN ESTÁNDAR</b>		<b>27.54</b>	<b>1.05%</b>
<b>COEFICIENTE DE VARIACIÓN</b>		<b>52.80</b>	<b>6.80</b>
<b>PERCENTIL 5%</b>		<b>19.45</b>	<b>14.22%</b>
<b>MÁXIMO</b>		<b>145.78</b>	<b>18.44%</b>
<b>MÍNIMO</b>		<b>17.49</b>	<b>13.96%</b>

Con los resultados experimentales de la tabla N° 15, se puede apreciar la variación del esfuerzo límite proporcional con respecto al contenido de humedad de cada probeta. Esta variación se aprecia en las figuras N° 34, N° 35, N° 36, N° 37, N° 38 y N° 39 con el gráfico de “contenido de humedad” VS “esfuerzo límite proporcional” para cada árbol y finalmente para el conjunto total de las muestras.

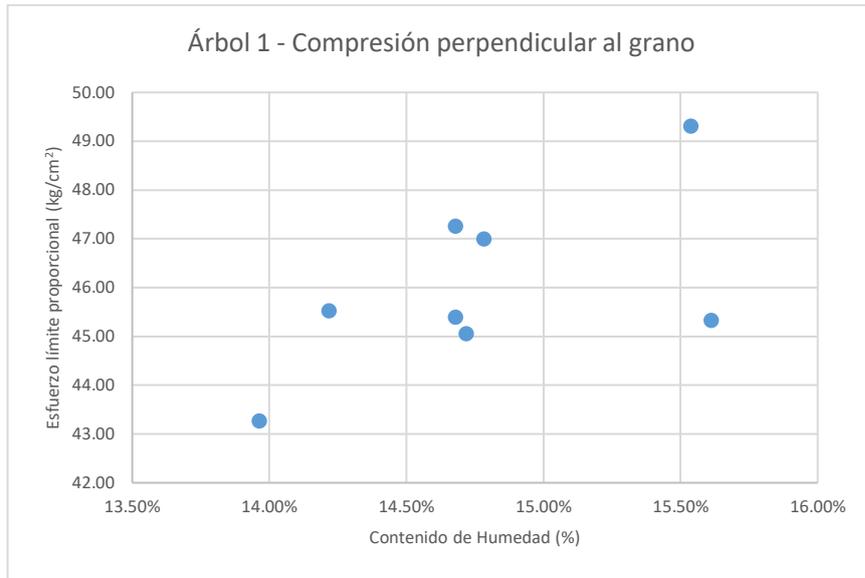


Figura N° 34. Variación de esfuerzo límite proporcional a compresión perpendicular al grano con respecto al contenido de humedad – Pashaco – Árbol 1.

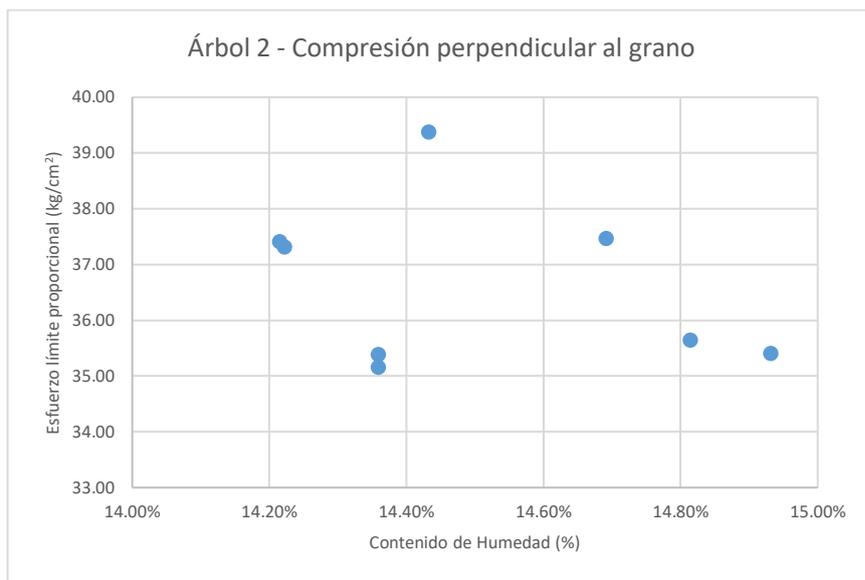


Figura N° 35. Variación de esfuerzo límite proporcional a compresión perpendicular al grano con respecto al contenido de humedad – Pashaco – Árbol 2.

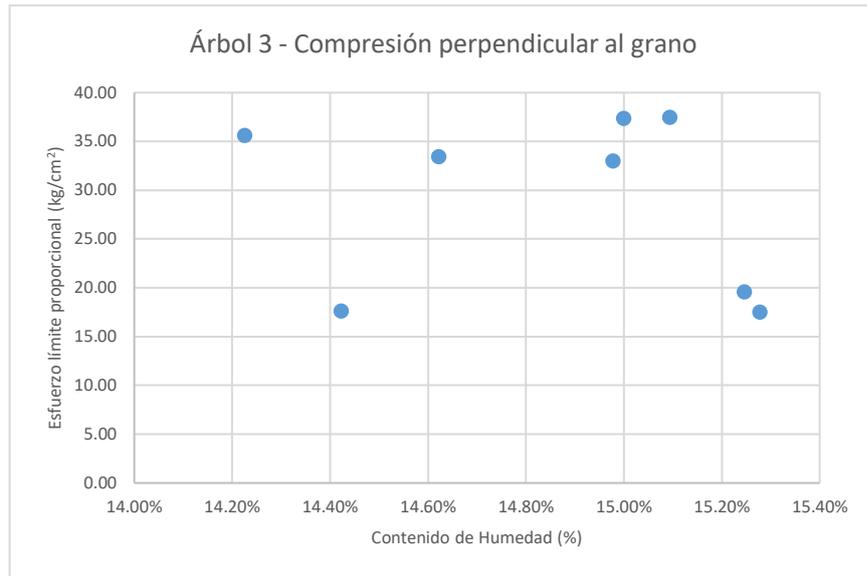


Figura N° 36. Variación de esfuerzo límite proporcional a compresión perpendicular al grano con respecto al contenido de humedad – Pashaco – Árbol 3.

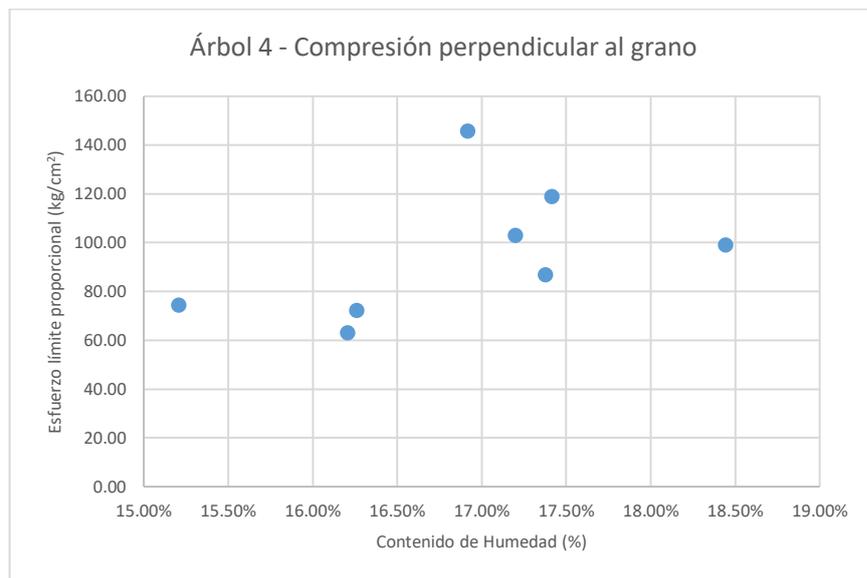


Figura N° 37. Variación de esfuerzo límite proporcional a compresión perpendicular al grano con respecto al contenido de humedad – Pashaco – Árbol 4.

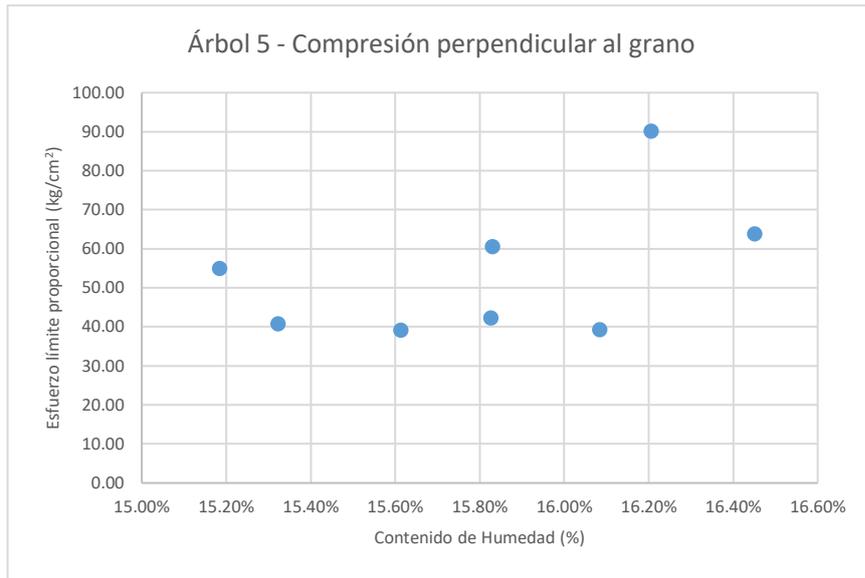


Figura N° 38. Variación de esfuerzo límite proporcional a compresión perpendicular al grano con respecto al contenido de humedad – Pashaco – Árbol 5.

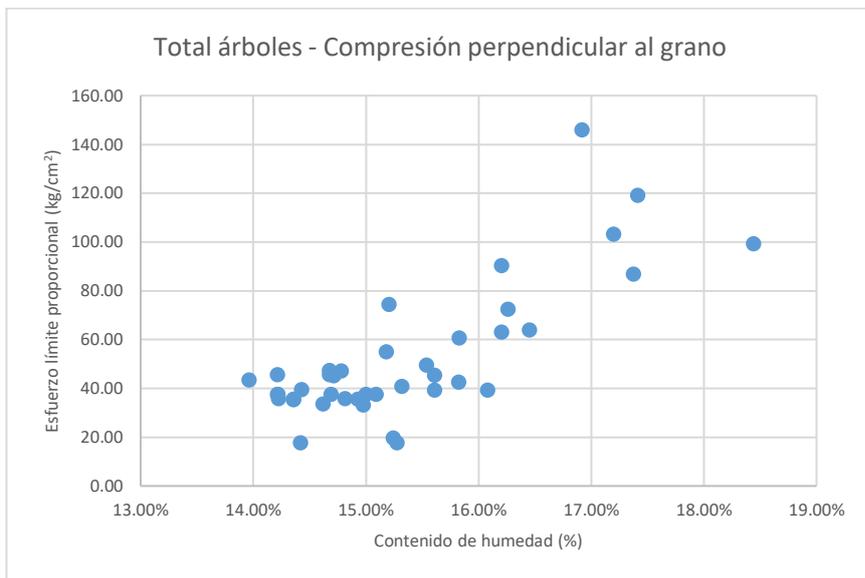


Figura N° 39. Variación de esfuerzo límite proporcional a compresión perpendicular al grano con respecto al contenido de humedad – Pashaco – Total árboles.

Finalmente, se obtienen los siguientes resultados promedio:

Tabla N° 16. Resultados promedio del ensayo de compresión perpendicular al grano.

ESFUERZO LÍMITE PROPORCIONAL (kg/cm <sup>2</sup> )	C.H. %
52.16	15.37%

### 6.2.3 Tracción paralela a las fibras

Para la elaboración de los ensayos se siguió lo establecido en la norma técnica NTP 251.085 Determinación de la tracción paralela a las fibras. Se utilizaron las instalaciones del Laboratorio N° 1 de Ensayo de Materiales de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Ingeniería y equipos con todas las medidas de seguridad indicadas por el personal técnico de laboratorio.

Una vez realizado los ensayos de tracción paralela a las fibras se procedió a hallar el contenido de humedad de cada una de las probetas.

Equipos:

- Máquina de Ensayos Universal Zwick Roell
- Horno (Estufa Eléctrica)
- Balanza de precisión con medida en gramos y precisión  $\pm 0.1$  gramos.



Figura N° 40. Ensayo de Tracción paralela a las fibras.

Fuente: Elaboración propia



Figura N° 41. Muestras de probeta en el horno para hallar el contenido de humedad del ensayo de Tracción paralela a las fibras.

Fuente: Elaboración propia

En la siguiente tabla se muestran las dimensiones de las probetas medidas en el laboratorio, el cálculo del área de la sección transversal de cada probeta ensayada y el cálculo del módulo de rotura obtenido en el ensayo de tracción paralela a las fibras.

Tabla N° 17. Resultado de Módulo de Rotura (MOR) del ensayo de tracción paralela a las fibras.

N°	PROBETA	ESPESOR A (cm)	ANCHO B (cm)	ÁREA (cm <sup>2</sup> )	CARGA DE ROTURA (kg)	MÓDULO DE ROTURA (kg/cm <sup>2</sup> )
1	1.1	1.573	1.571	3.88	1,056.25	272.11
2	1.2	1.527	1.529	3.67	1,138.99	310.57
3	1.3	1.429	1.440	3.23	1,002.36	310.10
4	1.4	1.586	1.567	3.90	1,346.65	344.94
5	1.5	1.592	1.584	3.96	888.01	224.18
6	1.6	1.574	1.589	3.93	656.71	167.15
7	1.7	1.617	1.592	4.04	1,347.68	333.26
8	1.8	1.647	1.606	4.16	956.94	230.28
9	2.1	1.634	1.638	4.20	1,287.04	306.13
10	2.2	1.623	1.633	4.16	1,244.42	298.91
11*	2.3	--	--	--	--	--
12	2.4	1.596	1.570	3.94	1,014.39	257.71
13	2.5	1.634	1.642	4.21	1,034.78	245.53

N°	PROBETA	ESPESOR A (cm)	ANCHO B (cm)	ÁREA (cm <sup>2</sup> )	CARGA DE ROTURA (kg)	MÓDULO DE ROTURA (kg/cm <sup>2</sup> )
14	2.6	1.568	1.614	3.98	1,398.75	351.79
15	2.7	1.542	1.558	3.77	1,045.63	277.07
16	2.8	1.604	1.608	4.05	1,066.32	263.19
17	3.1	1.566	1.576	3.88	1,140.33	294.14
18	3.2	1.628	1.640	4.19	1,571.66	374.74
19	3.3	1.559	1.593	3.90	805.43	206.44
20	3.4	1.618	1.620	4.12	1,706.55	414.48
21	3.5	1.626	1.622	4.14	1,363.26	329.07
22	3.6	1.608	1.624	4.10	870.93	212.31
23	3.7	1.620	1.628	4.14	867.28	209.35
24	3.8	1.622	1.636	4.17	1,170.97	280.92
25	4.1	1.658	1.632	4.25	559.93	131.73
26	4.2	1.638	1.632	4.20	724.38	172.51
27	4.3	1.628	1.606	4.11	1,171.57	285.25
28	4.4	1.617	1.625	4.13	1,545.32	374.40
29	4.5	1.687	1.696	4.49	419.91	93.43
30	4.6	1.603	1.595	4.02	1,108.08	275.90
31	4.7	1.543	1.571	3.81	1,017.51	267.20
32	4.8	1.568	1.548	3.81	1,167.18	306.11
33*	5.1	--	--	--	--	--
34	5.2	1.588	1.604	4.00	1,045.25	261.24
35	5.3	1.666	1.64	4.29	649.08	151.23
36	5.4	1.538	1.574	3.80	1,187.56	312.26
37	5.5	1.606	1.588	4.01	1,614.66	403.04
38*	5.6	--	--	--	--	--
39	5.7	1.601	1.599	4.02	1,020.18	253.70
40	5.8	1.660	1.634	4.26	1,317.70	309.25
41	5.9	1.65	1.638	4.25	518.78	122.20
42	5.10	1.64	1.64	4.22	960.43	227.33
43	5.11	1.59	1.6	4.00	1,083.40	271.11
<b>PROMEDIO</b>					<b>1,077.31</b>	<b>268.31</b>
<b>DESVIACIÓN ESTÁNDAR</b>					<b>295.14</b>	<b>74.28</b>
<b>COEFICIENTE DE VARIACIÓN</b>					<b>27.40</b>	<b>27.69</b>
<b>PERCENTIL 5%</b>					<b>557.87</b>	<b>131.25</b>
<b>MÁXIMO</b>					<b>1,706.55</b>	<b>414.48</b>
<b>MÍNIMO</b>					<b>419.91</b>	<b>93.43</b>

\*La probeta se rompió al realizar el ajuste en la máquina de ensayo universal

De acuerdo con la tabla:

$$\text{MOR}_{\text{promedio}} = 268.31 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{MOR}_{\text{mínimo}} = 93.43 \text{ kg/cm}^2$$

En el siguiente gráfico, se observan los valores del módulo de rotura (MOR) del ensayo de tracción paralela a las fibras en forma ordenada y ascendente, del cual, podemos visualizar que el límite de exclusión del 5% es 131.25 kg/cm<sup>2</sup>.

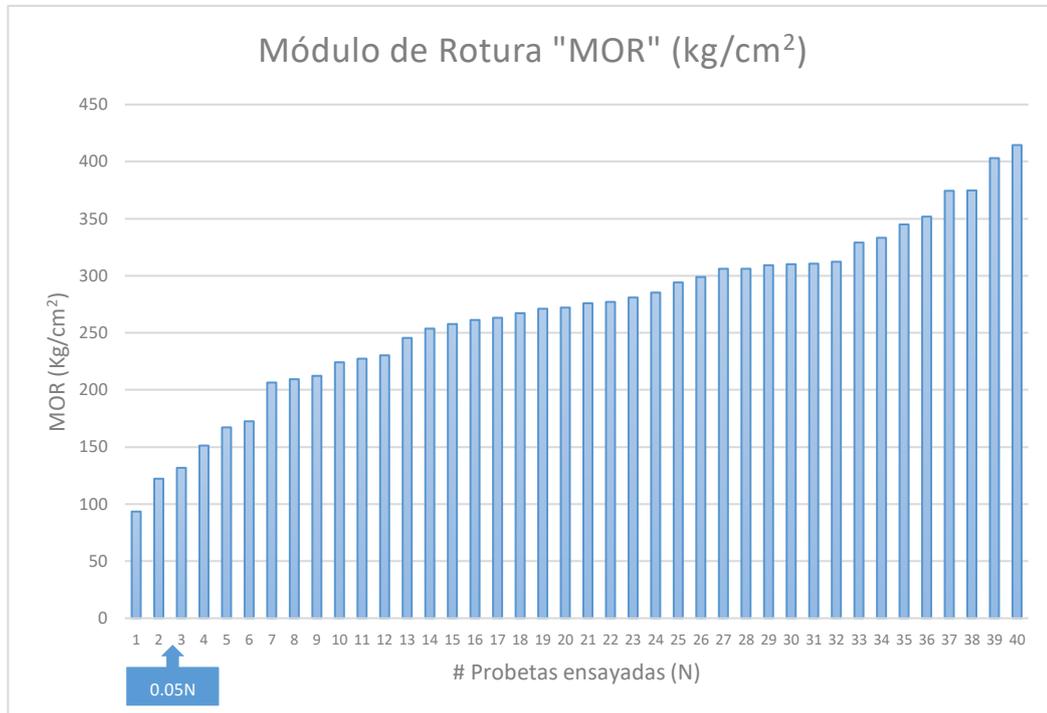


Figura N° 42. Gráfico que identifica el límite de exclusión del módulo de rotura a tracción paralela a las fibras.

De acuerdo con el gráfico:

$$\text{MOR}_{\text{percentil 5\%}} = 131.25 \text{ kg/cm}^2$$

En la siguiente tabla se muestran los valores obtenidos del ensayo de tracción paralela a las fibras y el cálculo de los valores del Esfuerzo Límite Proporcional.

Tabla N° 18. Resultado de Esfuerzo Límite Proporcional (ELP) del ensayo de tracción paralela a las fibras.

N°	PROBETA	ÁREA (cm <sup>2</sup> )	CARGA AL LÍMITE PROPORCIONAL (kg)	ESFUERZO LÍMITE PROPORCIONAL (kg/cm <sup>2</sup> )
1	1.1	3.88	220.09	56.70
2	1.2	3.67	870.01	237.22
3	1.3	3.23	550.02	170.16
4	1.4	3.90	1,150.06	294.59
5	1.5	3.96	280.12	70.72

N°	PROBETA	ÁREA (cm <sup>2</sup> )	CARGA AL LÍMITE PROPORCIONAL (kg)	ESFUERZO LÍMITE PROPORCIONAL (kg/cm <sup>2</sup> )
6	1.6	3.93	110.12	28.03
7	1.7	4.04	1,220.05	301.70
8	1.8	4.16	190.14	45.76
9	2.1	4.20	120.11	28.57
10	2.2	4.16	770.05	184.97
11*	2.3	--	--	--
12	2.4	3.94	140.20	35.62
13	2.5	4.21	550.01	130.50
14	2.6	3.98	540.05	135.82
15	2.7	3.77	100.06	26.51
16	2.8	4.05	100.12	24.71
17	3.1	3.88	370.07	95.46
18	3.2	4.19	120.05	28.62
19	3.3	3.90	139.92	35.86
20	3.4	4.12	1,550.03	376.47
21	3.5	4.14	150.19	36.25
22	3.6	4.10	80.15	19.54
23	3.7	4.14	270.13	65.20
24	3.8	4.17	310.20	74.42
25	4.1	4.25	360.08	84.71
26	4.2	4.20	280.12	66.71
27	4.3	4.11	230.21	56.05
28	4.4	4.13	320.18	77.57
29	4.5	4.49	180.11	40.08
30	4.6	4.02	150.13	37.38
31	4.7	3.81	350.05	91.92
32	4.8	3.81	130.24	34.16
33*	5.1	--	--	--
34	5.2	4.00	250.15	62.52
35	5.3	4.29	210.23	48.98
36	5.4	3.80	80.10	21.06
37	5.5	4.01	170.33	42.52
38*	5.6	--	--	--
39	5.7	4.02	140.11	34.84
40	5.8	4.26	210.07	49.30
41	5.9	4.25	140.09	33.00
42	5.10	4.22	600.05	142.03
43	5.11	4.00	110.14	27.56
<b>PROMEDIO</b>			<b>345.36</b>	<b>86.35</b>
<b>DESVIACIÓN ESTÁNDAR</b>			<b>337.55</b>	<b>84.89</b>
<b>COEFICIENTE DE VARIACIÓN</b>			<b>97.74</b>	<b>98.32</b>
<b>PERCENTIL 5%</b>			<b>99.06</b>	<b>24.53</b>

N°	PROBETA	ÁREA (cm <sup>2</sup> )	CARGA AL LÍMITE PROPORCIONAL (kg)	ESFUERZO LÍMITE PROPORCIONAL (kg/cm <sup>2</sup> )
<b>MÁXIMO</b>			<b>1,550.03</b>	<b>376.47</b>
<b>MÍNIMO</b>			<b>80.10</b>	<b>19.54</b>

\*La probeta se rompió al realizar el ajuste en la máquina de ensayo universal

De acuerdo con la tabla:

$$ELP_{\text{promedio}} = 86.35 \text{ kg/cm}^2$$

$$ELP_{\text{mínimo}} = 19.54 \text{ kg/cm}^2$$

En la siguiente tabla se muestran los valores obtenidos del ensayo de tracción paralela a las fibras y el cálculo de los valores del Módulo de Elasticidad.

Tabla N° 19. Resultado de Módulo de Elasticidad (MOE) del ensayo de tracción paralela a las fibras.

N°	PROBETA	ÁREA (cm <sup>2</sup> )	CARGA AL LÍMITE PROPORCIONAL (kg)	DISTANCIA ENTRE ABRAZADERAS (cm)	DEFORMACIÓN AL LÍMITE PROPORCIONAL (cm)	MÓDULO DE ELASTICIDAD (kg/cm <sup>2</sup> )
1	1.1	3.88	220.09	25.00	0.028049	50,535.00
2	1.2	3.67	870.01	25.50	0.499597	12,108.15
3	1.3	3.23	550.02	24.00	0.151273	26,996.46
4	1.4	3.90	1,150.06	25.20	1.482719	5,006.73
5	1.5	3.96	280.12	24.95	0.039764	44,371.56
6	1.6	3.93	110.12	24.20	0.012124	55,946.70
7	1.7	4.04	1,220.05	24.80	1.010008	7,408.07
8	1.8	4.16	190.14	25.20	0.036946	31,208.95
9	2.1	4.20	120.11	24.40	0.014725	47,339.09
10	2.2	4.16	770.05	25.50	0.644612	7,316.99
11*	2.3	--	--	--	--	--
12	2.4	3.94	140.20	25.10	0.018088	49,425.50
13	2.5	4.21	550.01	25.30	0.375783	8,786.30
14	2.6	3.98	540.05	24.60	0.224362	14,892.20
15	2.7	3.77	100.06	24.80	0.011371	57,828.96
16	2.8	4.05	100.12	25.00	0.015843	38,994.86
17	3.1	3.88	370.07	24.20	0.088736	26,033.27
18	3.2	4.19	120.05	25.10	0.008389	85,649.54
19	3.3	3.90	139.92	23.40	0.016925	49,584.59
20	3.4	4.12	1,550.03	23.10	1.078820	8,061.01
21	3.5	4.14	150.19	23.10	0.017383	48,176.50
22	3.6	4.10	80.15	22.50	0.000786	559,476.95
23	3.7	4.14	270.13	24.20	0.031490	50,110.25
24	3.8	4.17	310.20	23.90	0.033735	52,723.32
25	4.1	4.25	360.08	25.00	0.066175	32,003.34

N°	PROBETA	ÁREA (cm <sup>2</sup> )	CARGA AL LÍMITE PROPORCIONAL (kg)	DISTANCIA ENTRE ABRAZADERAS (cm)	DEFORMACIÓN AL LÍMITE PROPORCIONAL (cm)	MÓDULO DE ELASTICIDAD (kg/cm <sup>2</sup> )
26	4.2	4.20	280.12	23.20	0.070877	21,835.85
27	4.3	4.11	230.21	24.10	0.042811	31,553.20
28	4.4	4.13	320.18	24.80	0.046416	41,447.23
29	4.5	4.49	180.11	23.80	0.044744	21,316.29
30	4.6	4.02	150.13	23.20	0.024641	35,194.33
31	4.7	3.81	350.05	24.00	0.064553	34,176.56
32	4.8	3.81	130.24	23.10	0.021741	36,292.19
33*	5.1	--	--	--	--	--
34	5.2	4.00	250.15	25.20	0.033276	47,346.59
35	5.3	4.29	210.23	24.90	0.027509	44,336.25
36	5.4	3.80	80.10	24.30	0.009994	51,211.37
37	5.5	4.01	170.33	23.90	0.017072	59,521.53
38*	5.6	--	--	--	--	--
39	5.7	4.02	140.11	23.90	0.014663	56,790.77
40	5.8	4.26	210.07	23.00	0.020955	54,112.38
41	5.9	4.25	140.09	23.90	0.019104	41,282.58
42	5.10	4.22	600.05	24.20	0.150012	22,912.35
43	5.11	4.00	110.14	25.50	0.012108	58,047.23
<b>PROMEDIO</b>						<b>50,684.02</b>
<b>DESVIACIÓN ESTÁNDAR</b>						<b>84,490.83</b>
<b>COEFICIENTE DE VARIACIÓN</b>						<b>166.70</b>
<b>PERCENTIL 5%</b>						<b>7,403.52</b>
<b>MÁXIMO</b>						<b>559,476.95</b>
<b>MÍNIMO</b>						<b>5,006.73</b>

\*La probeta se rompió al realizar el ajuste en la máquina de ensayo universal

De acuerdo con la tabla:

$$MOE_{\text{promedio}} = 50,684.02 \text{ kg/cm}^2$$

$$MOE_{\text{mínimo}} = 5,006.73 \text{ kg/cm}^2$$

En la siguiente tabla se muestran los valores obtenidos del Contenido de Humedad, obtenidos del ensayo de tracción paralela a las fibras.

Tabla N° 20. Resultado de Contenido de Humedad (CH) del ensayo de tracción paralela a las fibras.

N°	PROBETA	PESO (g)	PESO SECO AL HORNO (g)	C.H. %
1	1.1	32.40	28.50	13.68%
2	1.2	32.70	28.70	13.94%
3	1.3	33.30	29.20	14.04%
4	1.4	35.30	31.10	13.50%
5	1.5	37.60	32.90	14.29%
6	1.6	30.00	26.40	13.64%
7	1.7	33.80	29.80	13.42%
8	1.8	35.90	31.60	13.61%
9	2.1	32.90	29.00	13.45%
10	2.2	29.10	25.70	13.23%
11*	2.3	--	--	--
12	2.4	30.70	27.10	13.28%
13	2.5	34.00	29.80	14.09%
14	2.6	32.90	29.00	13.45%
15	2.7	35.50	31.10	14.15%
16	2.8	30.50	26.90	13.38%
17	3.1	32.10	28.10	14.23%
18	3.2	35.80	31.50	13.65%
19	3.3	32.40	28.40	14.08%
20	3.4	37.20	32.60	14.11%
21	3.5	32.60	28.70	13.59%
22	3.6	31.20	27.40	13.87%
23	3.7	30.90	27.10	14.02%
24	3.8	34.20	30.10	13.62%
25	4.1	36.10	31.50	14.60%
26	4.2	27.80	24.40	13.93%
27	4.3	28.80	25.10	14.74%
28	4.4	32.00	27.90	14.70%
29	4.5	32.30	28.20	14.54%
30	4.6	27.70	24.30	13.99%
31	4.7	30.70	26.70	14.98%
32	4.8	29.10	25.40	14.57%
33*	5.1	--	--	--
34	5.2	34.60	30.40	13.82%
35	5.3	29.90	26.30	13.69%
36	5.4	30.50	26.70	14.23%
37	5.5	33.60	29.50	13.90%

N°	PROBETA	PESO (g)	PESO SECO AL HORNO (g)	C.H. %
38*	5.6	--	--	--
39	5.7	34.50	30.20	14.24%
40	5.8	32.40	28.40	14.08%
41	5.9	28.80	25.40	13.39%
42	5.10	33.40	29.30	13.99%
43	5.11	32.30	28.30	14.13%
<b>PROMEDIO</b>				<b>13.95%</b>
<b>DESVIACIÓN ESTÁNDAR</b>				<b>0.43%</b>
<b>COEFICIENTE DE VARIACIÓN</b>				<b>3.09</b>
<b>PERCENTIL 5%</b>				<b>13.38%</b>
<b>MÁXIMO</b>				<b>14.98%</b>
<b>MÍNIMO</b>				<b>13.23%</b>

\*La probeta se rompió al realizar el ajuste en la máquina de ensayo universal

De acuerdo con la tabla:

$$CH_{\text{promedio}} = 13.95\%$$

En la siguiente tabla se muestran los valores de Módulo de rotura VS el Contenido de Humedad obtenido en cada probeta.

Tabla N° 21. Resultados de módulo de rotura y contenido de humedad del ensayo de tracción paralela a las fibras.

N°	PROBETA	MÓDULO DE ROTURA (kg/cm <sup>2</sup> )	C.H. %
1	1.1	272.11	13.68%
2	1.2	310.57	13.94%
3	1.3	310.10	14.04%
4	1.4	344.94	13.50%
5	1.5	224.18	14.29%
6	1.6	167.15	13.64%
7	1.7	333.26	13.42%
8	1.8	230.28	13.61%
9	2.1	306.13	13.45%
10	2.2	298.91	13.23%
11*	2.3	--	--
12	2.4	257.71	13.28%
13	2.5	245.53	14.09%
14	2.6	351.79	13.45%
15	2.7	277.07	14.15%
16	2.8	263.19	13.38%

N°	PROBETA	MÓDULO DE ROTURA (kg/cm <sup>2</sup> )	C.H. %
17	3.1	294.14	14.23%
18	3.2	374.74	13.65%
19	3.3	206.44	14.08%
20	3.4	414.48	14.11%
21	3.5	329.07	13.59%
22	3.6	212.31	13.87%
23	3.7	209.35	14.02%
24	3.8	280.92	13.62%
25	4.1	131.73	14.60%
26	4.2	172.51	13.93%
27	4.3	285.25	14.74%
28	4.4	374.40	14.70%
29	4.5	93.43	14.54%
30	4.6	275.90	13.99%
31	4.7	267.20	14.98%
32	4.8	306.11	14.57%
33*	5.1	--	--
34	5.2	261.24	13.82%
35	5.3	151.23	13.69%
36	5.4	312.26	14.23%
37	5.5	403.04	13.90%
38*	5.6	--	--
39	5.7	253.70	14.24%
40	5.8	309.25	14.08%
41	5.9	122.20	13.39%
42	5.10	227.33	13.99%
43	5.11	271.11	14.13%
<b>PROMEDIO</b>		<b>268.31</b>	<b>13.95%</b>
<b>DESVIACIÓN ESTÁNDAR</b>		<b>74.28</b>	<b>0.43%</b>
<b>COEFICIENTE DE VARIACIÓN</b>		<b>27.69</b>	<b>3.09</b>
<b>PERCENTIL 5%</b>		<b>131.25</b>	<b>13.38%</b>
<b>MÁXIMO</b>		<b>414.48</b>	<b>14.98%</b>
<b>MÍNIMO</b>		<b>93.43</b>	<b>13.23%</b>

\*La probeta se rompió al realizar el ajuste en la máquina de ensayo universal

Con los resultados experimentales de la tabla N° 21, se puede apreciar la variación del módulo de rotura con respecto al contenido de humedad de cada probeta. Esta variación se aprecia en las figuras N° 43, N° 44, N° 45, N° 46, N° 47 y N° 48 con

el gráfico de “contenido de humedad” VS “módulo de rotura” para cada árbol y finalmente para el conjunto total de las muestras.

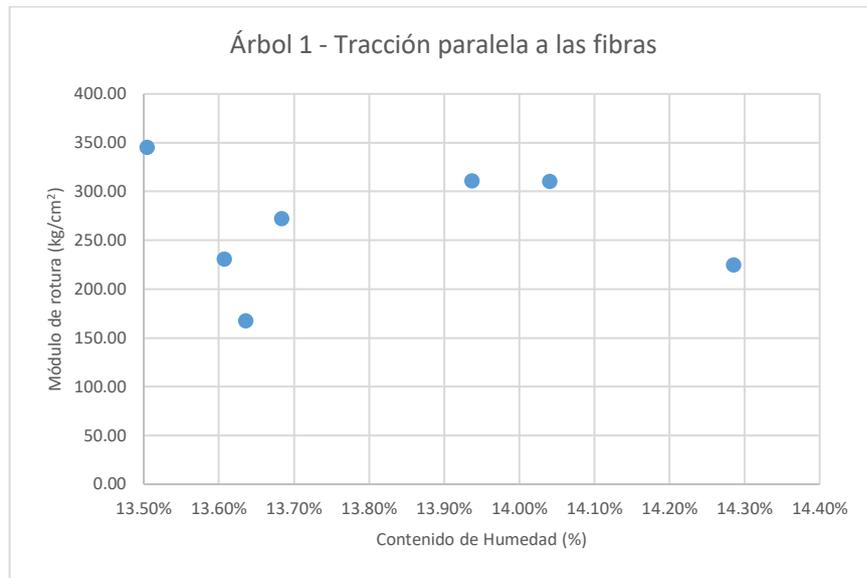


Figura N° 43. Variación del módulo de rotura a tracción paralela a las fibras con respecto al contenido de humedad – Pashaco – Árbol 1.

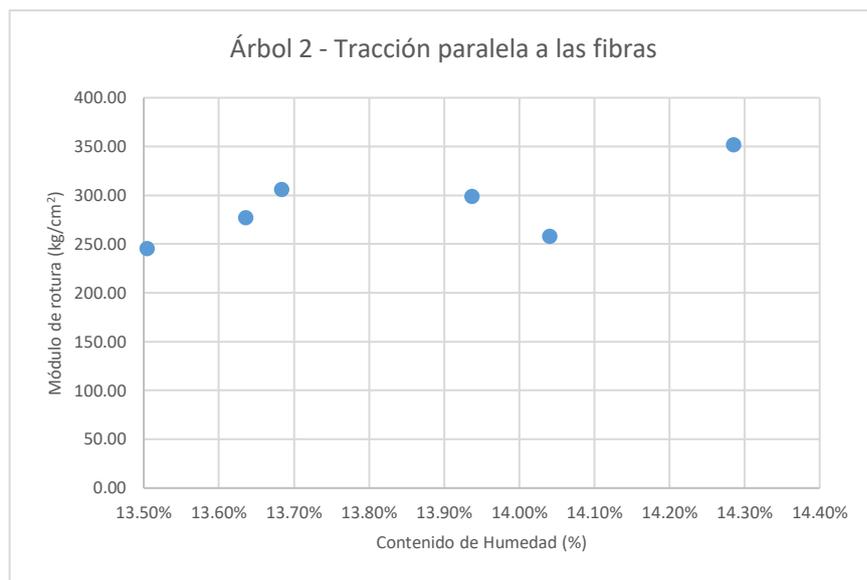


Figura N° 44. Variación del módulo de rotura a tracción paralela a las fibras con respecto al contenido de humedad – Pashaco – Árbol 2.

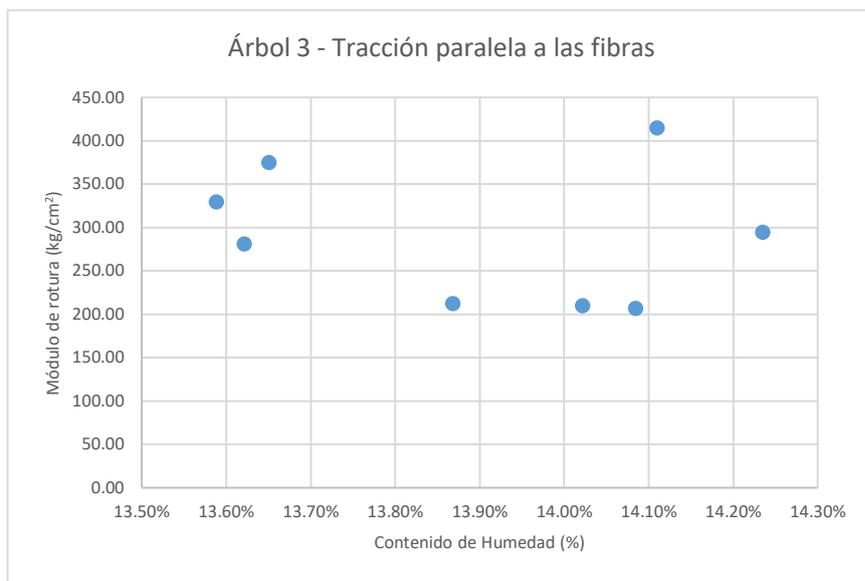


Figura N° 45. Variación del módulo de rotura a tracción paralela a las fibras con respecto al contenido de humedad – Pashaco – Árbol 3.

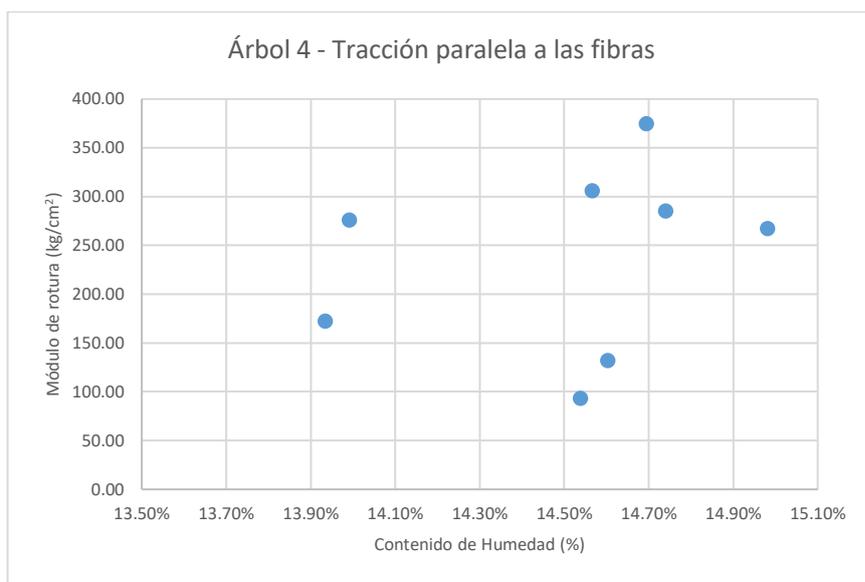


Figura N° 46. Variación del módulo de rotura a tracción paralela a las fibras con respecto al contenido de humedad – Pashaco – Árbol 4.

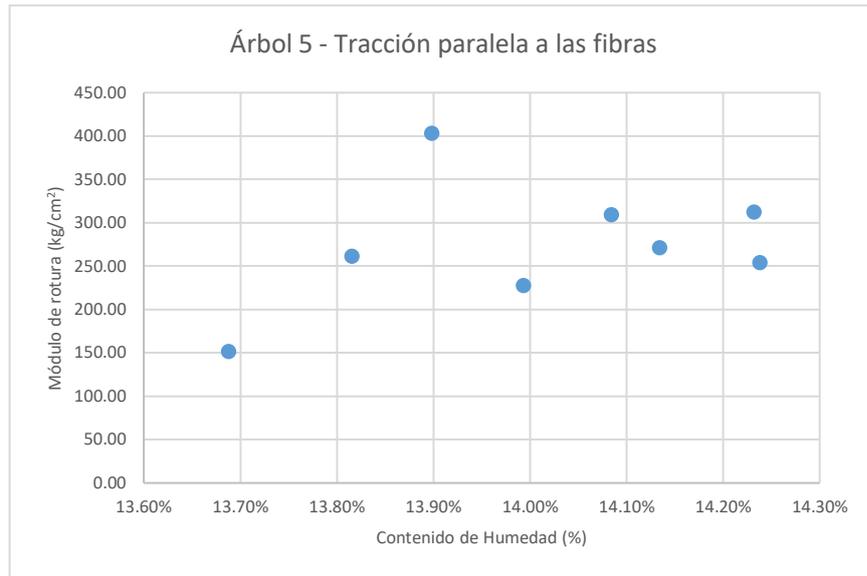


Figura N° 47. Variación del módulo de rotura a tracción paralela a las fibras con respecto al contenido de humedad – Pashaco – Árbol 5.

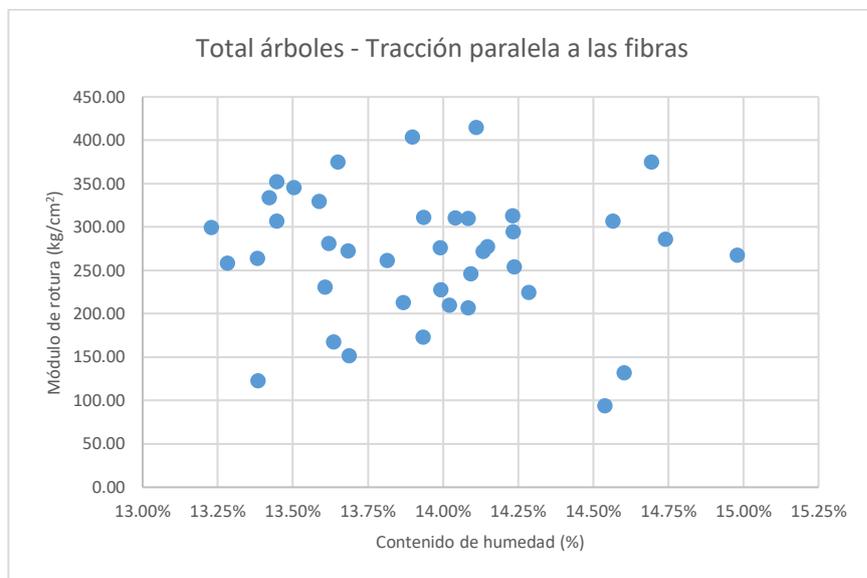


Figura N° 48. Variación del módulo de rotura a tracción paralela a las fibras con respecto al contenido de humedad – Pashaco – Total árboles.

Finalmente, se obtienen los siguientes resultados promedio:

Tabla N° 22. Resultados promedio del ensayo de tracción paralela a las fibras.

MÓDULO DE ROTURA (kg/cm²)	ESFUERZO LÍMITE PROPORCIONAL (kg/cm²)	MÓDULO DE ELASTICIDAD (kg/cm²)	C.H. %
268.31	86.35	50,684.02	13.95%

#### 6.2.4 Corte paralelo al grano

Para la elaboración de los ensayos se siguió lo establecido en la norma técnica NTP 251.013 Método para determinar el corte paralelo al grano. Se utilizaron las instalaciones del Laboratorio N° 1 de Ensayo de Materiales de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Ingeniería y equipos con todas las medidas de seguridad indicadas por el personal técnico de laboratorio.

Una vez realizado los ensayos de corte paralelo al grano se procedió a hallar el contenido de humedad de cada una de las probetas.

Equipos:

- Máquina de Ensayos Universal Zwick Roell
- Horno (Estufa Eléctrica)
- Balanza de precisión con medida en gramos y precisión  $\pm 0.1$  gramos.



Figura N° 49. Ensayo de Corte paralelo al grano.

Fuente: Elaboración propia



Figura N° 50. Muestras de probeta en el horno para hallar el contenido de humedad del ensayo de Corte paralelo al grano.

Fuente: Elaboración propia

En la siguiente tabla se muestran los valores obtenidos del ensayo de corte paralelo al grano y el cálculo de los valores de Resistencia al Corte.

Tabla N° 23. Resultado de la Resistencia al Corte del ensayo de corte paralelo al grano.

N°	PROBETA	ESPESOR (cm)	ANCHO (cm)	ÁREA (cm <sup>2</sup> )	CARGA MÁXIMA (kg)	RESISTENCIA AL CORTE (kg/cm <sup>2</sup> )
1	1.1	4.941	4.962	24.52	325.50	13.28
2	1.2	4.955	5.057	25.06	442.91	17.68
3	1.3	4.923	4.828	23.77	272.12	11.45
4	1.4	4.935	4.926	24.31	292.17	12.02
5	1.5	5.043	4.913	24.78	433.87	17.51
6	1.6	4.946	5.118	25.31	550.00	21.73
7	1.7	4.966	5.076	25.21	411.49	16.32
8*	1.8	--	--	--	--	--
9	2.1	4.878	4.899	23.90	712.55	29.82
10	2.2	4.914	4.940	24.28	496.44	20.45
11	2.3	4.905	5.002	24.53	677.15	27.60
12	2.4	4.953	4.95	24.52	519.89	21.20
13**	2.5	--	--	--	--	--
14	2.6	4.884	4.894	23.90	500.38	20.93
15*	2.7	--	--	--	--	--
16	2.8	4.923	4.938	24.31	479.39	19.72
17	2.9	4.941	4.750	23.47	411.83	17.55
18	2.10	4.973	5.088	25.30	620.15	24.51
19	2.11	4.961	5.083	25.22	147.20	5.84

N°	PROBETA	ESPESOR (cm)	ANCHO (cm)	ÁREA (cm <sup>2</sup> )	CARGA MÁXIMA (kg)	RESISTENCIA AL CORTE (kg/cm <sup>2</sup> )
20	2.12	4.940	5.129	25.34	613.85	24.23
21	2.13	4.963	5.168	25.65	714.63	27.86
22	3.1	5.015	4.894	24.54	699.44	28.50
23	3.2	4.911	4.923	24.18	365.26	15.11
24	3.3	5.059	4.909	24.83	592.46	23.86
25	3.4	4.969	4.888	24.29	404.90	16.67
26	3.5	4.890	4.992	24.41	775.66	31.78
27	3.6	4.968	4.901	24.35	433.65	17.81
28	3.7	5.004	5.045	25.25	538.91	21.35
29	3.8	5.013	5.150	25.82	746.05	28.90
30	4.1	4.966	4.982	24.74	1,492.25	60.32
31	4.2	4.944	5.028	24.86	805.59	32.41
32	4.3	4.953	4.901	24.27	1,030.37	42.45
33	4.4	4.910	4.921	24.16	1,645.06	68.08
34***	4.5	--	--	--	--	--
35***	4.6	--	--	--	--	--
36	4.7	5.004	4.868	24.36	679.35	27.89
37	4.8	5.015	5.163	25.89	1,356.95	52.41
38	4.9	5.002	5.119	25.61	1,005.14	39.26
39***	4.10	--	--	--	--	--
40	4.11	5.023	5.163	25.93	903.20	34.83
41***	5.1	--	--	--	--	--
42	5.2	4.968	4.973	24.71	1,041.45	42.15
43	5.3	4.968	5.002	24.85	727.12	29.26
44	5.4	5.023	5.039	25.31	970.30	38.34
45	5.5	4.997	5.062	25.29	967.58	38.25
46	5.6	4.980	5.140	25.60	1,099.45	42.95
47	5.7	4.969	5.085	25.27	1,046.78	41.43
48	5.8	4.992	4.996	24.94	730.00	29.27
49*	5.9	--	--	--	--	--
50	5.10	4.988	5.222	26.05	912.94	35.05
51	5.11	4.994	5.090	25.42	1,010.03	39.73
52	5.12	5.050	5.152	26.02	860.52	33.07
<b>PROMEDIO</b>					<b>715.04</b>	<b>28.65</b>
<b>DESVIACIÓN ESTÁNDAR</b>					<b>324.25</b>	<b>12.87</b>
<b>COEFICIENTE DE VARIACIÓN</b>					<b>45.35</b>	<b>44.93</b>
<b>PERCENTIL 5%</b>					<b>297.17</b>	<b>12.21</b>
<b>MÁXIMO</b>					<b>1,645.06</b>	<b>68.08</b>
<b>MÍNIMO</b>					<b>147.20</b>	<b>5.84</b>

\*La probeta se rompió al realizar el ajuste en la máquina de ensayo universal

\*\*La probeta no falló.

\*\*\*La probeta falló por aplastamiento. Se descarta.

De acuerdo con la tabla:

Resistencia al Corte  $_{promedio} = 28.65 \text{ kg/cm}^2$

Resistencia al Corte  $_{mínimo} = 5.84 \text{ kg/cm}^2$

En el siguiente gráfico, se observan los valores de la resistencia al corte del ensayo de corte paralelo al grano en forma ordenada y ascendente, del cual, podemos visualizar que el límite de exclusión del 5% es  $12.21 \text{ kg/cm}^2$ .

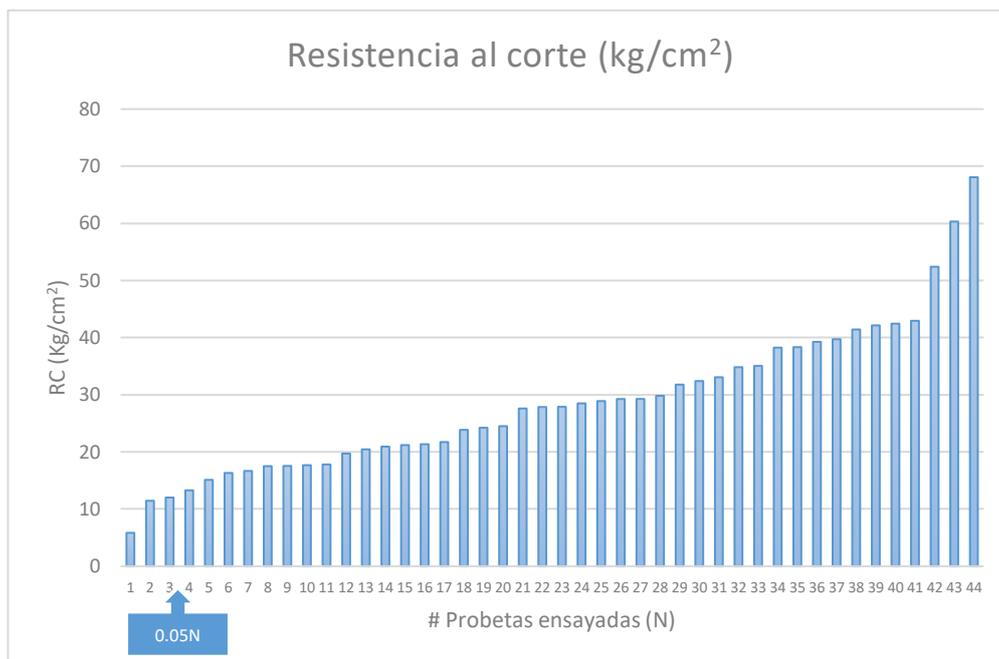


Figura N° 51. Gráfico que identifica el límite de exclusión de la resistencia al corte paralelo al grano.

De acuerdo con el gráfico:

Resistencia al Corte  $_{percentil\ 5\%} = 12.21 \text{ kg/cm}^2$

En la siguiente tabla se muestran los valores obtenidos del Contenido de Humedad, obtenidos del ensayo de corte paralelo al grano

Tabla N° 24. Resultado de Contenido de Humedad (CH) del ensayo de corte paralelo al grano.

N°	PROBETA	PESO INICIAL (g)	P.S.H. (g)	CONTENIDO DE HUMEDAD %
1	1.1	20.10	17.40	15.52%
2	1.2	22.60	19.90	13.57%
3	1.3	22.90	19.60	16.84%
4	1.4	19.30	17.00	13.53%

N°	PROBETA	PESO INICIAL (g)	P.S.H. (g)	CONTENIDO DE HUMEDAD %
5	1.5	20.60	18.00	14.44%
6	1.6	20.60	18.00	14.44%
7	1.7	20.30	17.80	14.04%
8*	1.8	--	--	--
9	2.1	22.10	19.30	14.51%
10	2.2	20.30	17.70	14.69%
11	2.3	26.00	22.40	16.07%
12	2.4	21.60	18.80	14.89%
13**	2.5	--	--	--
14	2.6	20.00	17.50	14.29%
15*	2.7	--	--	--
16	2.8	19.60	17.10	14.62%
17	2.9	20.50	17.90	14.53%
18	2.10	20.40	17.80	14.61%
19	2.11	21.20	18.50	14.59%
20	2.12	20.30	17.70	14.69%
21	2.13	20.10	17.60	14.20%
22	3.1	21.50	18.70	14.97%
23	3.2	20.00	17.40	14.94%
24	3.3	23.70	20.70	14.49%
25	3.4	19.60	17.10	14.62%
26	3.5	21.70	19.00	14.21%
27	3.6	21.90	19.20	14.06%
28	3.7	21.10	18.50	14.05%
29	3.8	21.50	18.90	13.76%
30	4.1	30.60	26.40	15.91%
31	4.2	35.00	30.00	16.67%
32	4.3	43.10	36.40	18.41%
33	4.4	39.20	33.33	17.61%
34***	4.5	--	--	--
35***	4.6	--	--	--
36	4.7	42.80	36.80	16.30%
37	4.8	30.80	26.80	14.93%
38	4.9	28.00	24.40	14.75%
39***	4.10	--	--	--
40	4.11	26.60	23.20	14.66%
41***	5.1	--	--	--
42	5.2	28.90	25.00	15.60%
43	5.3	32.90	28.40	15.85%
44	5.4	28.90	25.10	15.14%
45	5.5	32.60	28.10	16.01%
46	5.6	29.10	25.20	15.48%

N°	PROBETA	PESO INICIAL (g)	P.S.H. (g)	CONTENIDO DE HUMEDAD %
47	5.7	29.10	25.20	15.48%
48	5.8	34.40	29.60	16.22%
49*	5.9	--	--	--
50	5.10	24.90	21.70	14.75%
51	5.11	26.80	23.30	15.02%
52	5.12	27.90	24.30	14.81%
<b>PROMEDIO</b>				<b>15.06%</b>
<b>DESVIACIÓN ESTÁNDAR</b>				<b>1.02%</b>
<b>COEFICIENTE DE VARIACIÓN</b>				<b>6.80</b>
<b>PERCENTIL 5%</b>				<b>13.80%</b>
<b>MÁXIMO</b>				<b>18.41%</b>
<b>MÍNIMO</b>				<b>13.53%</b>

\*La probeta se rompió al realizar el ajuste en la máquina de ensayo universal

\*\*La probeta no falló.

\*\*\*La probeta falló por aplastamiento. Se descarta.

De acuerdo con la tabla:

$$CH_{\text{promedio}} = 15.06\%$$

En la siguiente tabla se muestran los valores de Resistencia al corte VS el Contenido de Humedad obtenido en cada probeta.

Tabla N° 25. Resultados de la resistencia al corte y contenido de humedad del ensayo de corte paralela al grano.

N°	PROBETA	RESISTENCIA AL CORTE (kg/cm <sup>2</sup> )	CONTENIDO DE HUMEDAD %
1	1.1	13.28	15.52%
2	1.2	17.68	13.57%
3	1.3	11.45	16.84%
4	1.4	12.02	13.53%
5	1.5	17.51	14.44%
6	1.6	21.73	14.44%
7	1.7	16.32	14.04%
8*	1.8	--	--
9	2.1	29.82	14.51%
10	2.2	20.45	14.69%
11	2.3	27.60	16.07%

N°	PROBETA	RESISTENCIA AL CORTE (kg/cm <sup>2</sup> )	CONTENIDO DE HUMEDAD %
12	2.4	21.20	14.89%
13**	2.5	--	--
14	2.6	20.93	14.29%
15*	2.7	--	--
16	2.8	19.72	14.62%
17	2.9	17.55	14.53%
18	2.10	24.51	14.61%
19	2.11	5.84	14.59%
20	2.12	24.23	14.69%
21	2.13	27.86	14.20%
22	3.1	28.50	14.97%
23	3.2	15.11	14.94%
24	3.3	23.86	14.49%
25	3.4	16.67	14.62%
26	3.5	31.78	14.21%
27	3.6	17.81	14.06%
28	3.7	21.35	14.05%
29	3.8	28.90	13.76%
30	4.1	60.32	15.91%
31	4.2	32.41	16.67%
32	4.3	42.45	18.41%
33	4.4	68.08	17.61%
34***	4.5	--	--
35***	4.6	--	--
36	4.7	27.89	16.30%
37	4.8	52.41	14.93%
38	4.9	39.26	14.75%
39***	4.10	--	--
40	4.11	34.83	14.66%
41***	5.1	--	--
42	5.2	42.15	15.60%
43	5.3	29.26	15.85%
44	5.4	38.34	15.14%
45	5.5	38.25	16.01%
46	5.6	42.95	15.48%
47	5.7	41.43	15.48%
48	5.8	29.27	16.22%
49*	5.9	--	--
50	5.10	35.05	14.75%
51	5.11	39.73	15.02%

N°	PROBETA	RESISTENCIA AL CORTE (kg/cm <sup>2</sup> )	CONTENIDO DE HUMEDAD %
52	5.12	33.07	14.81%
<b>PROMEDIO</b>		<b>28.65</b>	<b>15.06%</b>
<b>DESVIACIÓN ESTÁNDAR</b>		<b>12.87</b>	<b>1.02%</b>
<b>COEFICIENTE DE VARIACIÓN</b>		<b>44.93</b>	<b>6.80</b>
<b>PERCENTIL 5%</b>		<b>12.21</b>	<b>13.80%</b>
<b>MÁXIMO</b>		<b>68.08</b>	<b>18.41%</b>
<b>MÍNIMO</b>		<b>5.84</b>	<b>13.53%</b>

\*La probeta se rompió al realizar el ajuste en la máquina de ensayo universal

\*\*La probeta no falló.

\*\*\*La probeta falló por aplastamiento. Se descarta.

Con los resultados experimentales de la tabla N° 25, se puede apreciar la variación de la resistencia al corte con respecto al contenido de humedad de cada probeta. Esta variación se aprecia en las figuras N° 52, N° 53, N° 54, N° 55, N° 56 y N° 57 con el gráfico de “contenido de humedad” VS “resistencia al corte” para cada árbol y finalmente para el conjunto total de las muestras.

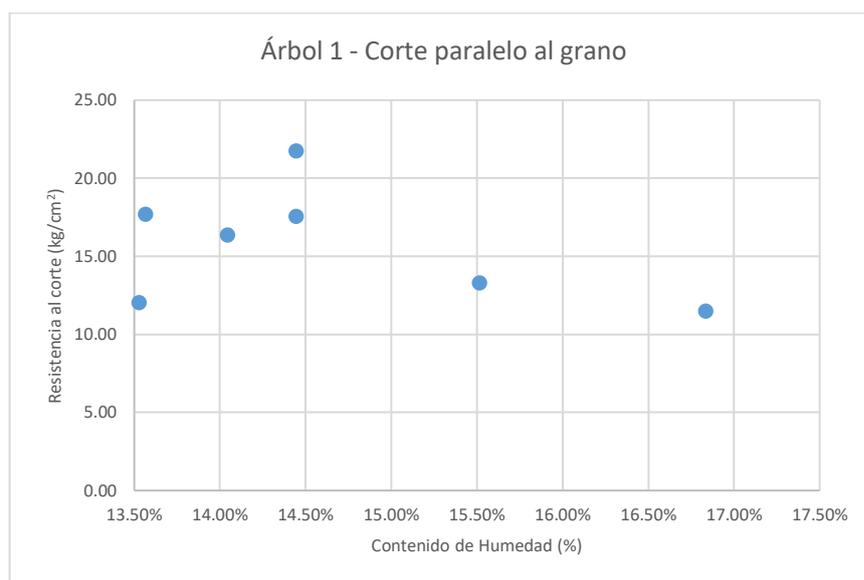


Figura N° 52. Variación de la resistencia al corte paralelo al grano con respecto al contenido de humedad – Pashaco – Árbol 1.

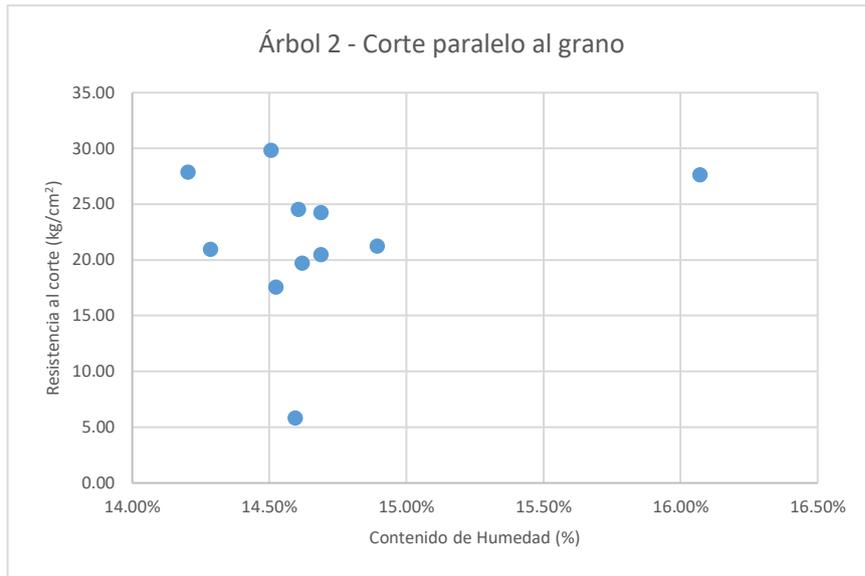


Figura N° 53. Variación de la resistencia al corte paralelo al grano con respecto al contenido de humedad – Pashaco – Árbol 2.

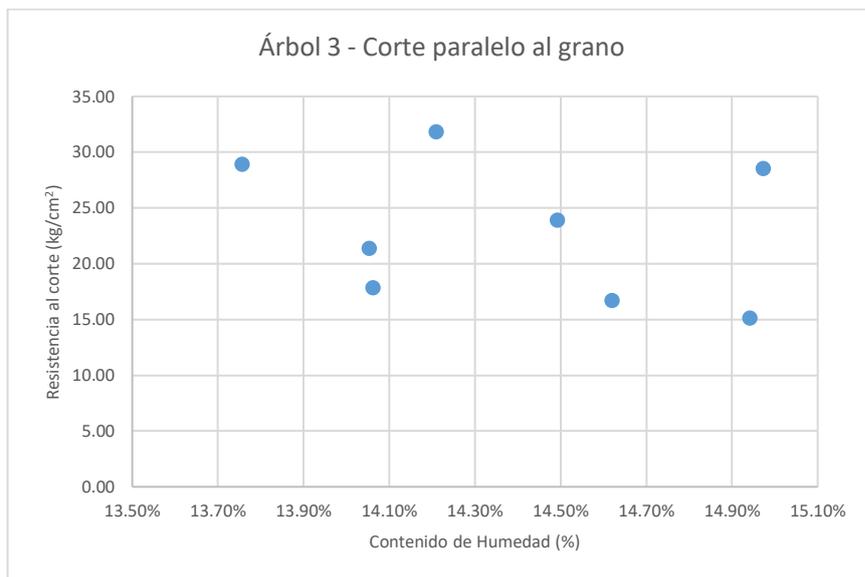


Figura N° 54. Variación de la resistencia al corte paralelo al grano con respecto al contenido de humedad – Pashaco – Árbol 3.

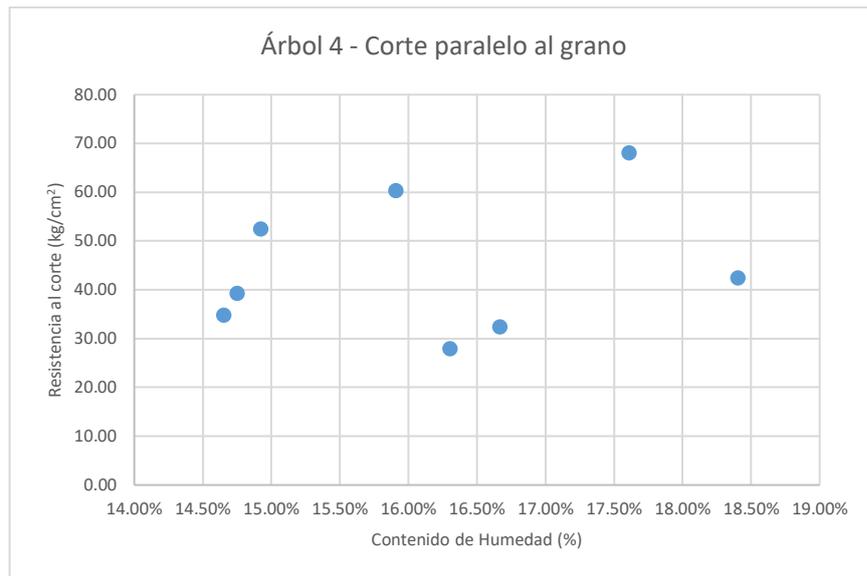


Figura N° 55. Variación de la resistencia al corte paralelo al grano con respecto al contenido de humedad – Pashaco – Árbol 4.

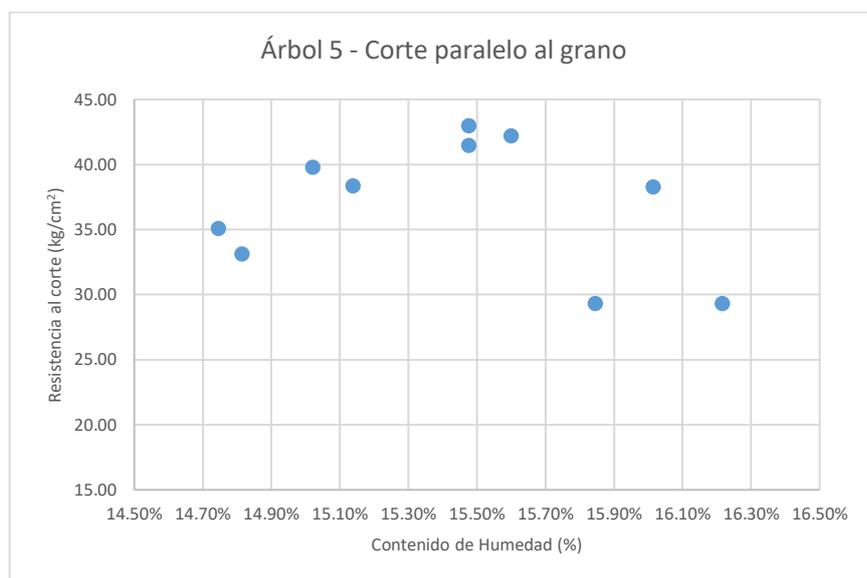


Figura N° 56. Variación de la resistencia al corte paralelo al grano con respecto al contenido de humedad – Pashaco – Árbol 5.

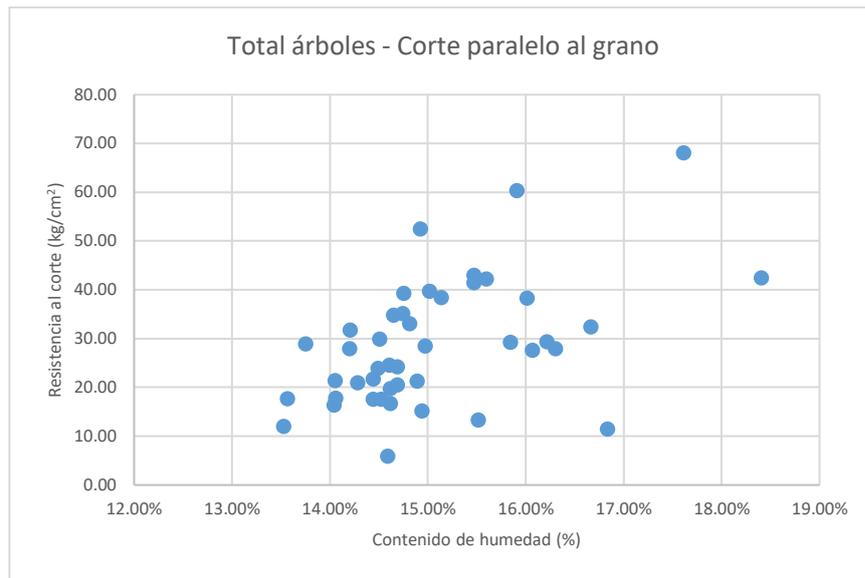


Figura N° 57. Variación de la resistencia al corte con respecto al contenido de humedad – Pashaco – Total árboles.

Finalmente, se obtienen los siguientes resultados promedio:

Tabla N° 26. Resultados promedio del ensayo de corte paralelo al grano.

RESISTENCIA AL CORTE (kg/cm <sup>2</sup> )	C.H. %
28.65	15.06%

## CAPÍTULO VII: ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LOS ENSAYOS

En el presente capítulo se mostrarán el resumen de resultados obtenidos de los ensayos de compresión paralela al grano, compresión perpendicular al grano, tracción paralela a las fibras y corte paralelo al grano desarrollados para la presente tesis, y los resultados obtenidos de la tesis de grado “Clasificación estructural de la madera Pashaco (*Albizzia sp.*)” del autor Gabriel Fernando Herrera Ñañez (2016) sobre los ensayos de flexión en vigas a escala natural; se realizará el cálculo de los esfuerzos admisibles de la especie Pashaco y, por último, se elaborará una propuesta para incorporar un nuevo grupo de maderas para uso estructural, el Grupo D, en la norma E.010.

### 7.1 Resumen de resultados obtenidos de los ensayos físico – mecánicos

#### 7.1.1 Resultados obtenidos de los ensayos de la presente tesis

A continuación, se presenta el resumen de los resultados obtenidos de los ensayos de compresión paralela al grano, compresión perpendicular al grano, tracción paralela a las fibras y corte paralelo al grano, desarrollados para la presente tesis.

Tabla N° 27. Resultados del ensayo de compresión paralela al grano.

Resultados del ensayo de compresión paralela al grano				
Propiedades	Promedio	Desviación estándar	Coefficiente de variación	Percentil 5%
Esfuerzo límite proporcional - "ELP" (kg/cm <sup>2</sup> )	205.72	35.13	17.07	144.14
Módulo de rotura - "MOR" (kg/cm <sup>2</sup> )	248.44	26.89	10.82	212.94
Módulo de elasticidad - "MOE" (kg/cm <sup>2</sup> )	41,894.18	25,652.23	61.23	20,716.40
Contenido de humedad (%)	15.35	0.71	4.62	14.27

Tabla N° 28. Resultados del ensayo de compresión perpendicular al grano.

Resultados del ensayo de compresión perpendicular al grano				
Propiedades	Promedio	Desviación estándar	Coefficiente de variación	Percentil 5%
Esfuerzo límite proporcional - "ELP" (kg/cm <sup>2</sup> )	52.16	27.54	52.80	19.45
Contenido de humedad (%)	15.37	1.05	6.80	14.22

Tabla N° 29. Resultados del ensayo de tracción paralela a las fibras.

Resultados del ensayo de tracción paralela a las fibras				
Propiedades	Promedio	Desviación estándar	Coefficiente de variación	Percentil 5%
Esfuerzo límite proporcional - "ELP" (kg/cm <sup>2</sup> )	86.35	84.89	98.32	24.53
Módulo de rotura - "MOR" (kg/cm <sup>2</sup> )	268.31	74.28	27.69	131.25
Módulo de elasticidad - "MOE" (kg/cm <sup>2</sup> )	50,684.02	84,490.83	166.70	7,403.52
Contenido de humedad (%)	13.95	0.43	3.09	13.38

Tabla N° 30. Resultados del ensayo de corte paralelo al grano.

Resultados del ensayo de corte paralelo al grano				
Propiedades	Promedio	Desviación estándar	Coefficiente de variación	Percentil 5%
Resistencia al corte (kg/cm <sup>2</sup> )	28.65	12.87	44.93	12.21
Contenido de humedad (%)	15.06	1.02	6.80	13.80

### 7.1.2 Resultados obtenidos de los ensayos representativos de otras investigaciones

A continuación, se presenta el resumen de los resultados obtenidos de los ensayos de flexión en vigas a escala natural de la tesis de grado "Clasificación estructural de la madera Pashaco (*Albizzia sp.*)" del autor Gabriel Fernando Herrera Ñañez (2016). Esta información es importante para poder obtener los esfuerzos admisibles de la madera Pashaco.

Tabla N° 31. Resultados del ensayo de flexión en vigas a escala natural (Herrera, 2016).

Resultados del ensayo de flexión en vigas a escala natural (Herrera, 2016)				
Propiedades	Promedio	Desviación estándar	Coefficiente de variación	Percentil 5%
Esfuerzo límite proporcional - "ELP" (kg/cm <sup>2</sup> )	290.86	75.54	25.97	167.87
Módulo de rotura - "MOR" (kg/cm <sup>2</sup> )	440.34	114.93	26.10	227.81
Módulo de elasticidad - "MOE" (kg/cm <sup>2</sup> )	87,174.95	22,536.98	25.85	50,198.35
Contenido de humedad (%)	14.37	1.31	9.15	12.39

### 7.1.3 Comparativo de propiedades físicas

A continuación, se presenta el cuadro comparativo de los resultados obtenidos en la presente tesis con otros estudios elaborados para la madera Pashaco.

Tabla N° 32. Cuadro comparativo de propiedades físicas

PROPIEDADES TECNOLÓGICAS DE LA MADERA PASHACO (ALBIZZIA SP.)						
PROPIEDADES	REFERENCIA					
	Este estudio	Tesis UNI (Herrera, 2016)	Confederación peruana de la madera, 2008	Manual de transformación de la madera, 2013	Estudio tecnológico de maderas del Perú (Zona Pucallpa) Vol I, 1974	TESIS UNSA (Valdivia. 2021)
<b>COMPRESIÓN PARALELA AL GRANO</b>						
Esfuerzo al límite proporcional promedio (kg/cm <sup>2</sup> )	205.72	185.26	-	189.00	325.00	-
Módulo de elasticidad promedio (kg/cm <sup>2</sup> )	41,894.18	97,549.91	-	-	-	246,500.00
Módulo de rotura promedio (kg/cm <sup>2</sup> )	248.44	282.09	364.00	-	385.00	353.30
<b>COMPRESIÓN PERPENDICULAR AL GRANO</b>						
Esfuerzo al límite proporcional promedio (kg/cm <sup>2</sup> )	52.16	-	54.00	13.00	54.00	-
<b>TRACCIÓN PARALELA A LAS FIBRAS</b>						
Esfuerzo al límite proporcional promedio (kg/cm <sup>2</sup> )	86.35	-	-	-	-	-
Módulo de rotura promedio (kg/cm <sup>2</sup> )	268.31	-	-	-	-	-
Módulo de elasticidad promedio (kg/cm <sup>2</sup> )	50,684.02	-	-	-	-	-
<b>CORTE PARALELO AL GRANO</b>						
Resistencia al corte promedio (kg/cm <sup>2</sup> )	28.65	-	80.00	52.00	115.00	-
<b>FLEXIÓN</b>						
Esfuerzo al límite proporcional promedio (kg/cm <sup>2</sup> )	-	290.85	-	64.00	-	-
Módulo de elasticidad promedio (kg/cm <sup>2</sup> )	-	87,174.95	86,000.00	-	131,000.00	-
Módulo de rotura promedio (kg/cm <sup>2</sup> )	-	440.34	569.00	-	829.00	-

## 7.2 Esfuerzos admisibles

Para el cálculo de los esfuerzos admisibles se utilizará la metodología indicada en el Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino de la Junta del Acuerdo de Cartagena – JUNAC, donde se aplica la siguiente fórmula:

$$\text{Esfuerzo admisible} = \frac{F.C. \times F.T.}{F.S. \times F.D.C.} \times \text{Esfuerzo último}$$

Donde,

- F.C. = factor de reducción por calidad
- F.T. = factor de reducción por tamaño
- F.S. = factor de servicio y seguridad
- F.D.C. = factor de duración de carga

Además, se considera como esfuerzo último lo siguiente:

- Compresión paralela al grano: esfuerzo de aplastamiento
- Compresión perpendicular al grano: esfuerzo al límite de proporcionalidad
- Corte paralelo al grano: esfuerzo de rotura
- Tracción paralela a las fibras: esfuerzo de rotura
- Flexión: esfuerzo de rotura (módulo de rotura o MOR)

El esfuerzo último ha sido definido como aquel correspondiente al límite de exclusión del 5%, es decir, se espera que de toda la población existente de dicha especie solamente el 5% tenga una resistencia menor que este valor.

Ordenando los resultados de los ensayos en forma creciente, el valor que define el límite de exclusión del 5% es el ensayo número 0.05N, donde N es el número de probetas ensayadas.

### 7.2.1 Definición de factores F.C., F.T., F.S. y F.D.C.

#### 7.2.1.1 Factor de reducción por calidad (F.C.)

Es la relación entre el esfuerzo resistido por elementos a escala natural y el correspondiente esfuerzo para probetas pequeñas.

Según el Manual de Diseño de la Junta de Acuerdo de Cartagena, se adopta el valor de 0.80 como factor de reducción por calidad para todos los grupos.

A continuación, se presentan los factores de calidad para cada tipo de esfuerzo.

Tabla N° 33. Factores de calidad.

	Flexión	Compresión paralela	Corte paralelo	Compresión perpendicular	Tracción paralela
F.C.	0.80	*	*	*	0.80

(\*) Incluido en F.S.

**7.2.1.2 Factor de reducción por tamaño (F.T.)**

Según el Manual de Diseño de la Junta de Acuerdo de Cartagena, el F.T. se calcula con la siguiente expresión:

$$F.T. = \left(\frac{50}{h}\right)^{1/9} \quad (h \text{ en mm})$$

Para los esfuerzos producidos por flexión o tracción paralela a las fibras.

No se ha considerado un factor de reducción por tamaño para esfuerzos de compresión o de corte.

El factor de reducción por tamaño para la flexión es 0.90 según el Manual de Diseño de la Junta de Acuerdo de Cartagena.

El factor de reducción por tamaño para la tracción paralela a las fibras se calcula con los datos de los ensayos realizados:

Tabla N° 34. Peralte de las probetas en ensayo de tracción paralela a las fibras.

Probeta	Peralte (mm)	Probeta	Peralte (mm)	Probeta	Peralte (mm)
1.1	250	2.8	250	4.6	232
1.2	255	3.1	242	4.7	240
1.3	240	3.2	251	4.8	231
1.4	252	3.3	234	5.2	252
1.5	249.5	3.4	231	5.3	249
1.6	242	3.5	231	5.4	243
1.7	248	3.6	225	5.5	239
1.8	252	3.7	242	5.7	239
2.1	244	3.8	239	5.8	230
2.2	255	4.1	250	5.9	239
2.4	251	4.2	232	5.10	242
2.5	253	4.3	241	5.11	255
2.6	246	4.4	248	Peralte promedio	243.26
2.7	248	4.5	238		

Aplicando la fórmula:

$$F.T. \text{ tracción} = \left(\frac{50}{243.26}\right)^{1/9} = 0.84$$

A continuación, se presentan los factores de calidad y reducción por tamaño para cada uno de los esfuerzos.

Tabla N° 35. Factores de calidad y reducción por tamaño.

	Flexión	Compresión paralela	Corte paralelo	Compresión perpendicular	Tracción paralela
F.C.	0.80	*	*	*	0.80
F.T.	0.90	*	*	*	0.84

(\*) Incluido en F.S.

### 7.2.1.3 Factor de servicio y seguridad

El factor de servicio y seguridad considera las incertidumbres respecto a:

- Conocimiento de las propiedades del material y su variabilidad.
- La confiabilidad de los ensayos para evaluar adecuadamente las características resistentes del material.
- La presencia de defectos no detectados al momento de la clasificación visual.
- El tipo de falla, frágil o dúctil, que pueda presentarse al sobre esforzar el material.
- Dimensiones reales de los elementos con respecto a las supuestas en el análisis y el diseño.
- Deterioro del material con el uso

El factor de servicio y seguridad no está destinado a cubrir errores en las estimaciones de carga, la determinación de esfuerzos, el diseño, ni defectos de construcción importantes o el uso de material no clasificado como madera estructural. El factor de servicio y seguridad varía según el tipo de sollicitación a fin de conseguir un margen de seguridad uniforme en todos los casos.

Para el cálculo del esfuerzo admisible en tracción paralela se estimará el valor de 1.60 como factor de servicio y seguridad, teniendo en cuenta que, de acuerdo a la norma E.010 – numeral 11.4, el esfuerzo admisible de tracción se considera como el 70% del esfuerzo correspondiente a flexión.

A continuación, se presentan los factores de calidad, reducción por tamaño, y servicio y seguridad para cada uno de los esfuerzos.

Tabla N° 36. Factores de calidad, reducción por tamaño, y servicio y seguridad.

	Flexión	Compresión paralela	Corte paralelo	Compresión perpendicular	Tracción paralela
F.C.	0.80	*	*	*	0.80
F.T.	0.90	*	*	*	0.84
F.S.	2.00	1.60	4.00**	1.60	1.60

(\*) Incluido en F.S.

(\*\*) Incluye factor por concentración de esfuerzos = 2

#### 7.2.1.4 Factor de duración de carga (F.D.C.)

Los esfuerzos de rotura de la madera disminuyen con la duración de la aplicación de la carga.

Según el Manual de Diseño de la Junta de Acuerdo de Cartagena, los esfuerzos admisibles para flexión y tracción paralela a las fibras consideran un factor de duración de carga de 1.15.

A continuación, se presentan los factores de calidad, reducción por tamaño, servicio y seguridad, y duración de carga para cada uno de los esfuerzos.

Tabla N° 37. Factores de calidad, reducción por tamaño, servicio y seguridad, y duración de carga.

	Flexión	Compresión paralela	Corte paralelo	Compresión perpendicular	Tracción paralela
F.C.	0.80	*	*	*	0.80
F.T.	0.90	*	*	*	0.84
F.S.	2.00	1.60	4.00**	1.60	1.60
F.D.C.	1.15	1.25	*	*	1.15

(\*) Incluido en F.S.

(\*\*) Incluye factor por concentración de esfuerzos = 2

#### 7.2.2 Cálculo de los esfuerzos admisibles

##### 7.2.2.1 Esfuerzo admisible por flexión

De la tesis "Clasificación estructural de la madera Pashaco (*Albizzia sp.*)" del autor Gabriel Fernando Herrera Ñañez (2016), se obtiene el módulo de rotura (MOR) para el percentil al 5% y se aplica la fórmula de la metodología del Manual de Diseño de la Junta de Acuerdo de Cartagena.

$$\text{MOR}_{\text{percentil 5\%}} = 227.81 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Esfuerzo admisible por flexión} = \frac{(0.80) \times (0.90)}{(2.00) \times (1.15)} \times (227.81)$$

$$\text{Esfuerzo admisible por flexión} = 71.31 \text{ kg/cm}^2$$

### 7.2.2.2 Esfuerzo admisible por compresión paralela al grano

De los resultados obtenidos de los ensayos de laboratorio, se extrae el esfuerzo al límite de proporcionalidad (ELP) para el percentil al 5% y se aplica la fórmula de la metodología del Manual de Diseño de la Junta de Acuerdo de Cartagena.

$$\text{ELP}_{\text{percentil 5\%}} = 144.14 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Esfuerzo admisible por compresión paralela} = \frac{(1.00) \times (1.00)}{(1.60) \times (1.25)} \times (144.14)$$

$$\text{Esfuerzo admisible por compresión paralela} = 72.07 \text{ kg/cm}^2$$

### 7.2.2.3 Esfuerzo admisible por corte paralelo al grano

De los resultados obtenidos de los ensayos de laboratorio, se extrae la resistencia al corte para el percentil al 5% y se aplica la fórmula de la metodología del Manual de Diseño de la Junta de Acuerdo de Cartagena.

$$\text{Resistencia al corte}_{\text{percentil 5\%}} = 12.21 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Esfuerzo admisible por corte paralelo} = \frac{(1.00) \times (1.00)}{(4.00) \times (1.00)} \times (12.21)$$

$$\text{Esfuerzo admisible por corte paralelo} = 3.05 \text{ kg/cm}^2$$

### 7.2.2.4 Esfuerzo admisible por compresión perpendicular al grano

De los resultados obtenidos de los ensayos de laboratorio, se extrae el esfuerzo al límite de proporcionalidad (ELP) para el percentil al 5% y se aplica la fórmula de la metodología del Manual de Diseño de la Junta de Acuerdo de Cartagena.

$$\text{ELP}_{\text{percentil 5\%}} = 19.45 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Esfuerzo admisible por compresión perpendicular} = \frac{(1.00) \times (1.00)}{(1.60) \times (1.00)} \times (19.45)$$

$$\text{Esfuerzo admisible por compresión perpendicular} = 12.16 \text{ kg/cm}^2$$

### 7.2.2.5 Esfuerzo admisible por tracción paralela a las fibras

De los resultados obtenidos de los ensayos de laboratorio, se extra el esfuerzo de rotura para el percentil al 5% y se aplica la fórmula de la metodología del Manual de Diseño de la Junta de Acuerdo de Cartagena.

$$\text{Esfuerzo de rotura}_{\text{percentil 5\%}} = 131.25 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Esfuerzo admisible por tracción paralela} = \frac{(0.80) \times (0.84)}{(1.60) \times (1.15)} \times (131.25)$$

$$\text{Esfuerzo admisible por tracción paralela} = 47.93 \text{ kg/cm}^2$$

Teniendo en cuenta lo indicado en la norma E.010 Madera, para el agrupamiento de maderas, el esfuerzo de tracción es considerado como el 70% de lo correspondiente a flexión:

$$\text{Esfuerzo admisible por tracción paralela} = 0.70 \times (\text{Esfuerzo flexión})$$

$$\text{Esfuerzo admisible por tracción paralela} = 0.70 \times (71.31)$$

$$\text{Esfuerzo admisible por tracción paralela} = 49.92 \text{ kg/cm}^2$$

Al resultar valores semejantes, se da por válido el F.S.= 1.60 asumido para el cálculo del esfuerzo admisible por tracción paralela.

#### 7.2.2.6 Resumen de los esfuerzos admisibles hallados

A continuación, se presentan los esfuerzos admisibles calculados con sus respectivos contenidos de humedad.

Tabla N° 38. Resumen de los esfuerzos admisibles hallados en laboratorio.

Solicitud	Esfuerzo admisible (kg/cm <sup>2</sup> )	Contenido de humedad
Flexión	71.31	14.37%
Compresión paralela al grano	72.07	15.35%
Corte paralelo al grano	3.05	15.06%
Compresión perpendicular al grano	12.16	15.37%
Tracción paralela a las fibras	47.93	13.95%

### 7.2.3 Comparativo de los resultados obtenidos con otros estudios

#### 7.2.3.1 Tesis de Grado Herrera Ñañez

En la tesis de grado “Clasificación estructural de la madera Pashaco (*Albizzia sp.*)” del autor Gabriel Fernando Herrera Ñañez (2016), se realizaron 30 ensayos de probetas a compresión paralela al grano, del cual, se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla N° 39. Resultados de ensayo de compresión paralela al grano (Herrera, 2016).

Resultados del ensayo de compresión paralela al grano (Herrera, 2016)				
Propiedades	Promedio	Desviación estándar	Coefficiente de variación	Percentil 5%
Esfuerzo límite proporcional - "ELP" (kg/cm <sup>2</sup> )	185.26	31.23	16.86	145.83
Módulo de rotura - "MOR" (kg/cm <sup>2</sup> )	282.09	45.11	15.99	212.29
Módulo de elasticidad - "MOE" (kg/cm <sup>2</sup> )	97,549.91	22,059.53	22.61	64,736.71
Contenido de humedad (%)	13.72	0.88	6.40	12.87

Del resumen de resultados, se extrae el esfuerzo al límite de proporcionalidad (ELP) para el percentil al 5% y se aplica la fórmula de la metodología del Manual de Diseño de la Junta de Acuerdo de Cartagena para hallar el esfuerzo admisible correspondiente.

$$ELP_{\text{percentil 5\%}} = 145.83 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Esfuerzo admisible por compresión paralela} = \frac{(1.00) \times (1.00)}{(1.60) \times (1.25)} \times (145.83)$$

$$\text{Esfuerzo admisible por compresión paralela} = 72.91 \text{ kg/cm}^2$$

Se comparan ambos esfuerzos admisibles obteniendo el siguiente cuadro:

Tabla N° 40. Comparativo de esfuerzo admisible por compresión paralela hallados entre la presente tesis y la tesis de Herrera Nañez, 2016.

PROPIEDADES EN PROBETAS LIBRES DE DEFECTOS DE LA MADERA PASHACO ( <i>Albizzia sp.</i> )		
PROPIEDAD	ESTE ESTUDIO	TESIS (Herrera, 2016)
Esfuerzo admisible por compresión paralela	72.07	72.91
Contenido de Humedad	15.35%	13.72%

Se observa que, a mayor contenido de humedad menor el esfuerzo admisible a compresión paralela al grano.

### 7.2.3.2 Norma E.010 Madera

Teniendo en cuenta los esfuerzos admisibles de los grupos A, B y C indicados en la Norma técnica peruana NTE.010 Madera, se procede a comparar los esfuerzos obtenidos de la madera Pashaco con sus correspondientes del Grupo C, hallando de esta manera el porcentaje de variación entre ellos.

Tabla N° 41. Comparativo entre los esfuerzos hallados en la presente tesis y los esfuerzos admisibles de la norma técnica E.010 Madera.

Grupo	Esfuerzos admisibles (kg/cm <sup>2</sup> )				
	Flexión	Tracción paralela	Compresión paralela	Compresión perpendicular	Corte paralelo
A	210	145	145	40	15
B	150	105	110	28	12
C	100	75	80	15	8
Pashaco	71.31	47.93	72.07	12.16	3.05
%	71.31%	63.91%	90.09%	81.07%	38.13%

Se puede notar que la variación de los esfuerzos de la madera Pashaco con respecto a los esfuerzos indicados para el Grupo C se encuentran en torno al 67% para la flexión y tracción paralela, 85% para la compresión paralela y compresión perpendicular y 40% para el corte paralelo. Sin embargo, es importante recalcar que los esfuerzos admisibles indicados en la norma técnica son valores para madera húmeda mientras que los valores hallados de la madera Pashaco son en madera seca (aproximadamente 15% de contenido de humedad).

### 7.3 Propuesta de nuevo grupo estructural – Grupo D

La norma técnica peruana NTE.010 “Madera” define los valores de esfuerzos admisibles, módulo de elasticidad y densidad básica para cada grupo estructural (A, B y C). Estos valores están dados para madera húmeda, mientras que los resultados obtenidos de los ensayos en la madera Pashaco fueron para un contenido de humedad promedio de 15%.

Por otro lado, la norma NTP 251.104 INACAL establece que la madera aserrada para uso estructural especificada como seca deberá tener un contenido de humedad mínimo del 10% y máximo del 22%, por lo que para la elaboración de la propuesta de un nuevo grupo estructural (Grupo D) se ajustarán los valores de esfuerzos admisibles y módulo de elasticidad hallados para un contenido de humedad del 22%.

A continuación, se presentará el ajuste de las propiedades por efecto del contenido de humedad desde 3 fuentes y el promedio de los mismos será propuesto como esfuerzo admisible y módulo de elasticidad para el nuevo grupo estructural.

Para la propuesta de densidad básica del nuevo grupo estructural se utilizarán resultados de estudios elaborados anteriormente.

### 7.3.1 Ajuste de esfuerzos admisibles y módulo de elasticidad

#### 7.3.1.1 Norma técnica colombiana NTC 6563:2021 ICONTEC

La norma técnica colombiana NTC 6563:2021 “Práctica normalizada para establecer las propiedades admisibles para madera aserrada dimensional clasificada visualmente a partir de ensayos de grados de madera de tamaño completo” indica los principios y procedimientos para establecer los valores de los esfuerzos admisibles para la flexión, tracción paralela a la fibra, compresión paralela al grano y módulo de elasticidad. Además, establece las pautas para el ajuste de los datos por el espesor, ancho, longitud, duración de la carga y la seguridad, y el contenido de humedad de las probetas.

En el anexo A1 de la norma NTC 6563:2021 se indica que se puede utilizar la siguiente fórmula de ajuste si es que se cumplen las siguientes condiciones para el módulo de rotura en flexión (MOR), resistencia máxima a la tracción (RM) y resistencia máxima a la compresión paralela (RM):

$$S2 = S1 + \{(S1 - B1) / (B2 - M1)\} \times (M1 - M2) \dots \text{(Ec.1)}$$

Para:

MOR<sub>flexión</sub> > 2,415.00 psi

RM<sub>tracción</sub> > 3,150.00 psi

RM<sub>compresión paralela</sub> > 1,400.00 psi

Además:

S1: propiedad en el contenido de humedad 1 (en psi)

S2: propiedad en el contenido de humedad 2 (en psi)

M1: contenido de humedad 1 (en %)

M2: contenido de humedad 2 (en %)

B1, B2: constantes tomadas de la tabla N° 42.

Tabla N° 42. Constantes para uso en la ecuación Ec. 1.

Coeficientes	MOR flexión	RM tracción	RM compresión paralela
B1	2,415	3,150	1,400
B2	40	80	34

Sin embargo, al comparar las condiciones establecidas con los datos obtenidos de los ensayos de laboratorio, se tiene:

Tabla N° 43. Cumplimiento de condiciones establecidas en la NTC 6563:2021.

Propiedades			Condición	¿cumple?
<b>FLEXIÓN: módulo de rotura obtenida de la tesis de Herrera Ñañez, 2016.</b>				
MOR promedio:	440.34 kg/cm <sup>2</sup>	6,262.96 psi	MDR>2,415 psi	SI
MOR percentil 5%	227.81 kg/cm <sup>2</sup>	3,240.14 psi	MDR>2,415 psi	SI
<b>TRACCIÓN: resistencia máxima a la tracción</b>				
RM promedio	268.31 kg/cm <sup>2</sup>	3,816.17 psi	EMT>3,150 psi	SI
RM percentil 5%	131.25 kg/cm <sup>2</sup>	1,866.77 psi	EMT>3,150 psi	NO
<b>COMPRESIÓN PARALELA: resistencia máxima a la compresión</b>				
RM promedio	248.44 kg/cm <sup>2</sup>	3,533.56 psi	EMC>1,400 psi	SI
RM percentil 5%	212.94 kg/cm <sup>2</sup>	3,028.65 psi	EMC>1,400 psi	SI

Nota: 1 kg/cm<sup>2</sup> = 14.223 psi

Del cuadro anterior, se observa que la resistencia máxima a la tracción (percentil 5%) no cumple con la condición, por lo que no se puede aplicar directamente la fórmula Ec.1. Se tienen en cuenta los valores de límite de exclusión al 5% ya que son los datos necesarios (esfuerzo último) para el cálculo del esfuerzo admisible según la metodología del Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino de la Junta del Acuerdo de Cartagena – JUNAC.

Para las especies que difieren con las condiciones indicadas anteriormente, la norma NTC 6563:2021, recomienda escalar los ajustes de las propiedades en relación con los estudios realizados de contenido de humedad del Abeto Douglas y Pino del Sur. Con este escalado, las propiedades de las especies más débiles se escalan primero antes de entrar al procedimiento de ajuste de la humedad (Ec.1), luego se realiza el ajuste de la humedad y finalmente se reducen por el mismo factor utilizado inicialmente.

Este último procedimiento sigue la siguiente secuencia:

- Paso 1: escalar S1 a S1\*

$$S1^* = \{(S1 - C) \times (A / B)\} + C \dots (Ec.2)$$

S1: propiedad en el contenido de humedad 1 (propiedad conocida en psi)

- Paso 2: calcular S2\* utilizando S1\* con la fórmula Ec.1 (procedimiento de ajuste de humedad).

$$S2 = S1 + \{(S1 - B1) / (B2 - M1)\} \times (M1 - M2)$$

- Paso 3: reducción para hallar S2.

$$S2 = \{(S2^* - C)\} \times (B / A) + C \dots \text{(Ec.3)}$$

S2: propiedad que se quiere hallar con nuevo contenido de humedad

M1: contenido de humedad conocido

M2: contenido de humedad objetivo

Tabla N° 44. Valores de A y C para fórmulas Ec.2 y Ec.3

Propiedad	Valores para A	Valores para C
<b>MOR</b> flexión	10,120.45	1,000.00
<b>RM</b> tracción	7,452.79	0.0
<b>RM</b> compresión paralela	5,785.00	0.0

El valor de B es el promedio de una propiedad obtenida de los ensayos de flexión, tracción paralela y compresión paralela al 15% de contenido de humedad

Tabla N° 45. Valores de B para la fórmula Ec.2 y Ec.3.

Valores para B		
<b>Flexión: módulo de rotura obtenida de la tesis de Herrera Ñañez, 2016.</b>		
<b>MOR</b> promedio:	440.34 kg/cm <sup>2</sup>	6,262.96 psi
<b>Tracción: resistencia máxima a la tracción</b>		
<b>RM</b> promedio	268.31 kg/cm <sup>2</sup>	3,816.17 psi
<b>Compresión paralela: resistencia máxima a la compresión</b>		
<b>RM</b> promedio	248.44 kg/cm <sup>2</sup>	3,533.56 psi

Una vez, obtenido los datos, se procede con el cálculo del reajuste por contenido de humedad.

## 1. Flexión

Propiedad para ajuste S1: MOR<sub>percentil 5%</sub> = 227.81 kg/cm<sup>2</sup> (C.H.: 14.37%)

Paso 1:  $S1^* = \{(S1 - C) \times (A / B)\} + C$

S1:	3,240.14	psi
A:	10,120.45	
B:	6,262.96	psi
C:	1,000.00	

Se calcula:  $S1^* = 4,619.89$  psi.

Paso 2:  $S2^* = S1^* + \{(S1^* - B1) / (B2 - M1)\} \times (M1 - M2)$

B1:	2,415.00	
B2:	40.00	
M1:	14.37	%
M2:	22.00	%

Se calcula:  $S2^* = 3,963.50$  psi

Paso 3:  $S2 = \{(S2^* - C)\} \times (B / A) + C$

Se calcula  $S2$ : 2,833.94 psi  $\rightarrow$  MOR<sub>percentil 5%</sub> = 199.25 kg/cm<sup>2</sup> (C.H.: 22.00%)

Finalmente, se vuelve a calcular el esfuerzo admisible según JUNAC:

$$\text{Esfuerzo admisible por flexión} = \frac{(0.80) \times (0.90)}{(2.00) \times (1.15)} \times (199.25)$$

$$\text{Esfuerzo admisible por flexión} = 62.37 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \text{ al } 22\% \text{ de C.H.}$$

## 2. Tracción paralela

Propiedad para ajuste S1: MOR<sub>percentil 5%</sub> = 131.25 kg/cm<sup>2</sup> (C.H.: 13.95%)

Paso 1:  $S1^* = \{(S1 - C) \times (A / B)\} + C$

S1:	1,866.77	psi
A:	7,452.79	
B:	3,816.17	psi
C:	0.00	

Se calcula:  $S1^* = 3,645.70$  psi.

Paso 2:  $S2^* = S1^* + \{(S1^* - B1) / (B2 - M1)\} \times (M1 - M2)$

B1:	3,150.00	
B2:	80.00	
M1:	13.95	%
M2:	22.00	%

Se calcula:  $S2^* = 3,585.29$  psi

Paso 3:  $S2 = \{(S2^* - C)\} \times (B / A) + C$

Se calcula S2: 1,835.83 psi  $\rightarrow$  MOR<sub>percentil 5%</sub> = 129.07 kg/cm<sup>2</sup> (C.H.: 22.00%)

Finalmente, se vuelve a calcular el esfuerzo admisible según JUNAC:

$$\text{Esfuerzo admisible por tracción paralela} = \frac{(0.80) \times (0.84)}{(1.60) \times (1.15)} \times (129.07)$$

**Esfuerzo admisible por tracción paralela = 47.14  $\frac{kg}{cm^2}$  al 22% de C. H. a**

### 3. Compresión paralela

Propiedad para ajuste S1: ELP<sub>percentil 5%</sub> = 144.14 kg/cm<sup>2</sup> (C.H.: 15.35%)

Paso 1:  $S1^* = \{(S1 - C) \times (A / B)\} + C$

S1:	2,050.10	psi
A:	5,785.00	
B:	3,533.56	psi
C:	0.00	

Se calcula:  $S1^* = 3,356.34$  psi.

Paso 2:  $S2^* = S1^* + \{(S1^* - B1) / (B2 - M1)\} \times (M1 - M2)$

B1:	1,400.00	
B2:	34.00	
M1:	15.35	%
M2:	22.00	%

Se calcula:  $S2^* = 2,658.77$  psi

Paso 3:  $S2 = \{(S2^* - C)\} \times (B / A) + C$

Se calcula S2: 1,624.02 psi  $\rightarrow$  ELP<sub>percentil 5%</sub> = 114.18 kg/cm<sup>2</sup> (C.H.: 22.00%)

Finalmente, se vuelve a calcular el esfuerzo admisible según JUNAC:

$$\text{Esfuerzo admisible por compresión paralela} = \frac{(1.00) \times (1.00)}{(1.60) \times (1.25)} \times (114.18)$$

$$\text{Esfuerzo admisible por compresión paralela} = 57.09 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \text{ al } 22\% \text{ de C. H.}$$

#### 4. Módulo de elasticidad (MOE)

La norma técnica colombiana NTC 6563:2021 indica que el módulo de elasticidad se puede ajustar por contenido de humedad utilizando la siguiente fórmula:

$$S_2 = S_1 \times (B_1 - (B_2 \times M_2)) / (B_1 - (B_2 \times M_1)) \dots (\text{Ec.4})$$

Donde:

- S1: propiedad en el contenido de humedad 1 (en psi)  
 S2: propiedad en el contenido de humedad 2 (en psi)  
 M1: contenido de humedad 1 (en %)  
 M2: contenido de humedad 2 (en %)  
 B1, B2: constantes tomadas de la tabla N° 46

Tabla N° 46. Constantes para uso en la ecuación Ec.4.

Coeficientes	MOE
B1	1.857
B2	0.0237

A continuación, se aplica la fórmula Ec.4 para obtener MOE<sub>promedio</sub> y MOE<sub>mínimo</sub>:

##### - MOE<sub>promedio</sub>

Propiedad para ajuste S1: MOE<sub>promedio</sub> = 87,174.95 kg/cm<sup>2</sup> (C.H.: 14.37%, obtenido de la tesis de grado “Clasificación estructural de la madera Pashaco (*Albizzia sp.*)” del autor Gabriel Fernando Herrera Ñañez ,2016)

$$S_2 = S_1 \times (B_1 - (B_2 \times M_2)) / (B_1 - (B_2 \times M_1))$$

S1:	1,239,889.31	psi
M1:	14.37	%
M2:	22.00	%
B1:	1.857	
B2:	0.0237	

Se calcula S2: 1,092,035.29 psi → MOE promedio = 76,779.53 kg/cm<sup>2</sup> (C.H.: 22.00%)

- **MOE mínimo**

Propiedad para ajuste S1: MOE mínimo = 50,198.35 kg/cm<sup>2</sup> (C.H.: 14.37%, obtenido de la tesis de grado “Clasificación estructural de la madera Pashaco (*Albizzia sp.*)” del autor Gabriel Fernando Herrera Ñañez ,2016))

$$S2 = S1 \times (B1 - (B2 \times M2)) / (B1 - (B2 \times M1))$$

S1:	713,971.13	psi
M1:	14.37	%
M2:	22.00	%
B1:	1.857	
B2:	0.0237	

Se calcula S2: 628,831.67 psi → MOE mínimo = 44,212.31 kg/cm<sup>2</sup> (C.H.: 22.00%)

### 7.3.1.2 Reglamento colombiano de construcción sismo resistente NSR-10

En el título G – Estructuras de madera y estructuras de Guadua del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10 se indican los coeficientes de afectación para esfuerzos y módulos de elasticidad de la madera para realizar ajustes por efectos del contenido de humedad. Los coeficientes indicados en la norma NSR-10 se presentan en la tabla N° 47 y están referidos para valores de contenido de humedad menores e iguales a 12% y superiores al 19%; para valores intermedios de contenido de humedad, la reducción será proporcional.

Tabla N° 47. Coeficientes de afectación para esfuerzos y módulos de elasticidad.

Fuente: NSR-10

Esfuerzos		CH ≤ 12%	CH > 19%
<b>Flexión</b>	F <sub>b</sub>	1.0	0.75
<b>Tracción</b>	F <sub>t</sub>	1.0	0.75
<b>Compresión paralela</b>	F <sub>c</sub>	1.0	0.70
<b>Compresión perpendicular</b>	F <sub>p</sub>	1.0	0.80
<b>Corte</b>	F <sub>v</sub>	1.0	0.80
<b>Módulos de elasticidad</b>	E <sub>0.5</sub>	1.0	0.80
	E <sub>0.05</sub>	1.0	0.80
	E <sub>mín</sub>	1.0	0.80

Los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio tuvieron contenidos de humedad cercanos al 15%, por lo tanto, para aplicar lo indicado en la norma NSR-10 primero se deben ajustar los datos experimentales al 12% de contenido de humedad para luego ajustar al 22% de contenido de humedad (>19%).

Con ayuda de la figura N° 58, se plantea la siguiente relación de proporciones:

$$\frac{(r - s)}{7} = \frac{(r - f)}{(X - 12)}$$

Despejando el factor "f", se obtiene:

$$f = r - \frac{(r - s)x(X - 12)}{7}$$

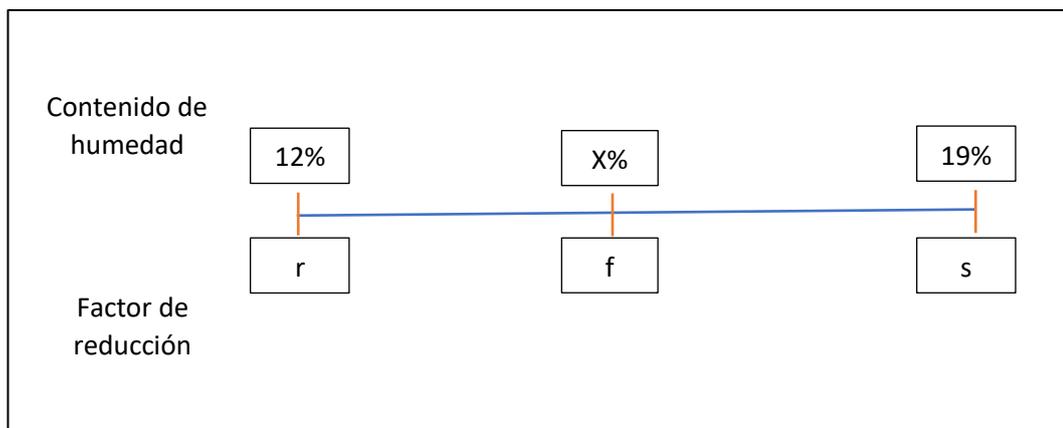


Figura N° 58. Planteamiento de proporciones para ajuste de humedad NSR-10.

Una vez calculado el factor "f" del contenido de humedad conocido por los ensayos de laboratorio, se procede a calcular el esfuerzo para el contenido de humedad mayor a 19% con la siguiente fórmula:

$$\text{Esfuerzo al 22\% C.H.} = (\text{Esfuerzo conocido}) \times \frac{s}{f}$$

A continuación, se muestran los cálculos para obtener los esfuerzos admisibles al 22% de contenido de humedad con los factores de reducción indicados en la norma NRS-10:

### 1. Flexión

Esfuerzo admisible por flexión conocido = 71.31 kg/cm<sup>2</sup> (14.37% C.H.)

Cálculo de factor “f”:

$$f = r - \frac{(r - s)x(X - 12)}{7}$$

r:	1.00
s:	0.75
X:	14.37

→ Factor “f” = 0.915

Cálculo de esfuerzo admisible al 22% de contenido de humedad:

$$\text{Esfuerzo al 22\% C.H.} = (71.31) \times \frac{0.75}{0.915}$$

$$\text{Esfuerzo admisible por flexión} = 58.43 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \text{ al 22\% de C.H.}$$

## 2. Tracción paralela a las fibras

Esfuerzo admisible por tracción conocido = 47.93 kg/cm<sup>2</sup> (13.95% C.H.)

Cálculo de factor “f”:

$$f = r - \frac{(r - s)x(X - 12)}{7}$$

r:	1.00
s:	0.75
X:	13.95

→ Factor “f” = 0.930

Cálculo de esfuerzo admisible al 22% de contenido de humedad:

$$\text{Esfuerzo al 22\% C.H.} = (47.93) \times \frac{0.75}{0.930}$$

$$\text{Esfuerzo admisible por tracción paralela} = 38.64 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \text{ al 22\% de C.H.}$$

### 3. Compresión paralela al grano

Esfuerzo admisible por compresión paralela conocido = 72.07 kg/cm<sup>2</sup> (15.35% C.H.)

Cálculo de factor "f":

$$f = r - \frac{(r - s)x(X - 12)}{7}$$

r:	1.00
s:	0.70
X:	15.35

→ Factor "f" = 0.856

Cálculo de esfuerzo admisible al 22% de contenido de humedad:

$$\text{Esfuerzo al 22\% C.H.} = (72.07) \times \frac{0.70}{0.856}$$

**Esfuerzo admisible por compresión paralela = 58.91  $\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$  al 22% de C.H.**

### 4. Compresión perpendicular al grano

Esfuerzo admisible por compresión perpendicular conocido = 12.16 kg/cm<sup>2</sup> (15.37% C.H.)

Cálculo de factor "f":

$$f = r - \frac{(r - s)x(X - 12)}{7}$$

r:	1.00
s:	0.80
X:	15.37

→ Factor "f" = 0.904

Cálculo de esfuerzo admisible al 22% de contenido de humedad:

$$\text{Esfuerzo al 22\% C.H.} = (12.16) \times \frac{0.80}{0.904}$$

$$\text{Esfuerzo por compresión perpendicular} = 10.76 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \text{ al } 22\% \text{ de C.H.}$$

## 5. Corte paralelo al grano

Esfuerzo admisible por corte paralelo conocido = 3.05 kg/cm<sup>2</sup> (15.06% C.H.)

Cálculo de factor "f":

$$f = r - \frac{(r - s)x(X - 12)}{7}$$

r:	1.00
s:	0.80
X:	15.06

→ Factor "f" = 0.913

Cálculo de esfuerzo admisible al 22% de contenido de humedad:

$$\text{Esfuerzo al } 22\% \text{ C.H.} = (3.05) \times \frac{0.80}{0.913}$$

$$\text{Esfuerzo por cizallamiento paralelo} = 2.67 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \text{ al } 22\% \text{ de C.H.}$$

## 6. Módulo de elasticidad promedio

Módulo de elasticidad promedio conocido = 87,174.95 kg/cm<sup>2</sup> (14.37% C.H.)

Cálculo de factor "f":

$$f = r - \frac{(r - s)x(X - 12)}{7}$$

r:	1.00
s:	0.80
X:	14.37

→ Factor "f" = 0.932

Cálculo del módulo de elasticidad promedio al 22% de contenido de humedad:

$$MOE \text{ promedio al } 22\% \text{ C.H.} = (87,174.95) \times \frac{0.80}{0.932}$$

$$\text{Módulo de elasticidad promedio} = 74,805.35 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \text{ al } 22\% \text{ de C.H.}$$

## 7. Módulo de elasticidad mínimo

Módulo de elasticidad mínimo conocido = 50,198.35 kg/cm<sup>2</sup> (14.37% C.H.)

Cálculo de factor “f”:

$$f = r - \frac{(r - s)x(X - 12)}{7}$$

r:	1.00
s:	0.80
X:	14.37

→ Factor “f” = 0.932

Cálculo del módulo de elasticidad mínimo al 22% de contenido de humedad:

$$MOE \text{ mínimo al } 22\% \text{ C.H.} = (50,198.35) \times \frac{0.80}{0.932}$$

$$\text{Módulo de elasticidad mínimo} = 43,075.51 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \text{ al } 22\% \text{ de C.H.}$$

### 7.3.1.3 Laboratorio de Productos Forestales – Estados Unidos

El Laboratorio de Productos Forestales del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, a través de su publicación “Manual de madera: la madera como material de ingeniería, 2010” establece una fórmula para estimar una propiedad a cualquier contenido de humedad por debajo del valor de “Mp” (Mp: contenido de humedad en que las propiedades mecánicas empiezan a cambiar cuando la madera empieza a secarse desde la condición verde).

La fórmula es la siguiente:

$$P = P_{12} \times \left(\frac{P_{12}}{P_g}\right)^{\left(\frac{12-M}{M_p-12}\right)} \dots \text{(Ec.5)}$$

Donde:

P: es la propiedad al contenido de humedad que se quiere hallar

P<sub>12</sub>: es la propiedad al 12% de contenido de humedad

P<sub>g</sub>: es la propiedad para la madera verde

M: es el contenido de humedad de la propiedad que se desea hallar

M<sub>p</sub>: asume el valor de 25, salvo en las especies estudiadas por el Laboratorio de productos forestales

En la fórmula propuesta por el Laboratorio de productos forestales se deben conocer los valores de las propiedades para la madera seca al 12% y la madera verde, sin embargo, los resultados obtenidos en laboratorio se dieron a un contenido de humedad promedio del 15%.

Para la aplicación de la fórmula Ec.5 en la presente tesis, se utilizará la Tabla 10 de la norma ASTM D245-99 con la cual se obtiene el valor estimado de una propiedad en la condición verde.

*Tabla N° 48. Modificación de los esfuerzos admisibles para efectos de secado para madera de 4 pulgadas o menos de espesor.*

*Fuente: Tabla 10 de la ASTM D245-99*

Propiedad	Aumento porcentual en la propiedad permitida por encima de la madera verde cuando el máximo contenido de humedad es	
	19%	15%
Flexión	25	35
Módulo de elasticidad	14	20
Tracción paralela al grano	25	35
Compresión paralela al grano	50	75
Corte horizontal	8	13
Compresión perpendicular al grano	50	50

Una vez obtenido el valor de la propiedad en condición verde, se aplicará la fórmula Ec.5 para obtener la propiedad al 12% de contenido de humedad utilizando los valores obtenidos en los ensayos de laboratorio. Finalmente, se

volverá a aplicar la fórmula Ec.5 para calcular la propiedad al 22% de contenido de humedad utilizando los valores de las propiedades al 12% y en condición verde.

## 1. Flexión

Esfuerzo admisible por flexión conocido = 71.31 kg/cm<sup>2</sup> (14.37% C.H.)

- Cálculo de esfuerzo en condición verde: 71.31/1.35 = 52.82 kg/cm<sup>2</sup>
- Cálculo de esfuerzo al 12% de contenido de humedad (P<sub>12</sub>):

$$P_{conocido} = P_{12} \times \left(\frac{P_{12}}{P_g}\right)^{\left(\frac{12-M}{M_p-12}\right)}$$

$$71.31 = P_{12} \times \left(\frac{P_{12}}{52.82}\right)^{\left(\frac{12-14.37}{25-12}\right)}$$

$$P_{12} = 76.24 \text{ kg/cm}^2$$

- Cálculo de esfuerzo al 22% de contenido de humedad (P<sub>22</sub>):

$$P_{22} = P_{12} \times \left(\frac{P_{12}}{P_g}\right)^{\left(\frac{12-M}{M_p-12}\right)}$$

$$P_{22} = 76.24 \times \left(\frac{76.24}{52.82}\right)^{\left(\frac{12-14.37}{25-12}\right)}$$

$$P_{22} = 57.49 \text{ kg/cm}^2$$

**Esfuerzo admisible por flexión = 57.49  $\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$  al 22% de C.H.**

## 2. Tracción paralela al grano

Esfuerzo admisible por tracción conocido = 47.93 kg/cm<sup>2</sup> (13.95% C.H.)

- Cálculo de esfuerzo en condición verde: 47.93/1.35 = 35.50 kg/cm<sup>2</sup>
- Cálculo de esfuerzo al 12% de contenido de humedad (P<sub>12</sub>):

$$P_{conocido} = P_{12} \times \left(\frac{P_{12}}{P_g}\right)^{\left(\frac{12-M}{M_p-12}\right)}$$

$$47.93 = P_{12} \times \left(\frac{P_{12}}{35.50}\right)^{\left(\frac{12-13.95}{25-12}\right)}$$

$$P_{12} = 50.54 \text{ kg/cm}^2$$

- Cálculo de esfuerzo al 22% de contenido de humedad (P<sub>22</sub>):

$$P_{22} = P_{12} \times \left(\frac{P_{12}}{P_g}\right)^{\left(\frac{12-M}{M_p-12}\right)}$$

$$P_{22} = 50.54 \times \left(\frac{50.54}{35.50}\right)^{\left(\frac{12-13.95}{25-12}\right)}$$

$$P_{22} = 38.52 \text{ kg/cm}^2$$

**Esfuerzo admisible por tracción paralela =  $38.52 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$  al 22% de C. H.**

### 3. Compresión paralela al grano

Esfuerzo admisible por compresión paralela conocido =  $72.07 \text{ kg/cm}^2$  (15.35% C.H.)

- Cálculo de esfuerzo en condición verde:  $72.07/1.75 = 41.18 \text{ kg/cm}^2$
- Cálculo de esfuerzo al 12% de contenido de humedad ( $P_{12}$ ):

$$P_{\text{conocido}} = P_{12} \times \left(\frac{P_{12}}{P_g}\right)^{\left(\frac{12-M}{M_p-12}\right)}$$

$$72.07 = P_{12} \times \left(\frac{P_{12}}{41.18}\right)^{\left(\frac{12-15.35}{25-12}\right)}$$

$$P_{12} = 87.52 \text{ kg/cm}^2$$

- Cálculo de esfuerzo al 22% de contenido de humedad ( $P_{22}$ ):

$$P_{22} = P_{12} \times \left(\frac{P_{12}}{P_g}\right)^{\left(\frac{12-M}{M_p-12}\right)}$$

$$P_{22} = 87.52 \times \left(\frac{87.52}{41.18}\right)^{\left(\frac{12-15.35}{25-12}\right)}$$

$$P_{22} = 49.01 \text{ kg/cm}^2$$

**Esfuerzo admisible por compresión paralela =  $49.01 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$  al 22% de C. H.**

#### 4. Compresión perpendicular al grano

Esfuerzo admisible por compresión perpendicular conocido = 12.16 kg/cm<sup>2</sup> (15.37% C.H.)

- Cálculo de esfuerzo en condición verde: 12.16/1.50 = 8.11 kg/cm<sup>2</sup>
- Cálculo de esfuerzo al 12% de contenido de humedad (P<sub>12</sub>):

$$P_{conocido} = P_{12} \times \left(\frac{P_{12}}{P_g}\right)^{\left(\frac{12-M}{M_p-12}\right)}$$

$$12.16 = P_{12} \times \left(\frac{P_{12}}{8.11}\right)^{\left(\frac{12-15.37}{25-12}\right)}$$

$$P_{12} = 14.01 \text{ kg/cm}^2$$

- Cálculo de esfuerzo al 22% de contenido de humedad (P<sub>22</sub>):

$$P_{22} = P_{12} \times \left(\frac{P_{12}}{P_g}\right)^{\left(\frac{12-M}{M_p-12}\right)}$$

$$P_{22} = 14.01 \times \left(\frac{14.01}{8.11}\right)^{\left(\frac{12-15.37}{25-12}\right)}$$

$$P_{22} = 9.20 \text{ kg/cm}^2$$

**Esfuerzo por compresión perpendicular = 9.20  $\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$  al 22% de C. H.**

#### 5. Corte paralelo al grano

Esfuerzo admisible por corte paralelo conocido = 3.05 kg/cm<sup>2</sup> (15.06% C.H.)

- Cálculo de esfuerzo en condición verde: 3.05/1.13 = 2.70 kg/cm<sup>2</sup>
- Cálculo de esfuerzo al 12% de contenido de humedad (P<sub>12</sub>):

$$P_{conocido} = P_{12} \times \left(\frac{P_{12}}{P_g}\right)^{\left(\frac{12-M}{M_p-12}\right)}$$

$$3.05 = P_{12} \times \left(\frac{P_{12}}{2.70}\right)^{\left(\frac{12-15.06}{25-12}\right)}$$

$$P_{12} = 3.17 \text{ kg/cm}^2$$

- Cálculo de esfuerzo al 22% de contenido de humedad (P<sub>22</sub>):

$$P_{22} = P_{12} \times \left(\frac{P_{12}}{P_g}\right)^{\left(\frac{12-M}{M_p-12}\right)}$$

$$P_{22} = 3.17 \times \left(\frac{3.17}{2.70}\right)^{\left(\frac{12-15.06}{25-12}\right)}$$

$$P_{22} = 2.80 \text{ kg/cm}^2$$

**Esfuerzo por corte paralelo = 2.80  $\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$  al 22% de C. H.**

## 6. Módulo de elasticidad promedio

Módulo de elasticidad promedio conocido = 87,174.95 kg/cm<sup>2</sup> (14.37% C.H.)

- Cálculo de módulo de elasticidad en condición verde: 87,174.95/1.20 = 72,645.79 kg/cm<sup>2</sup>
- Cálculo del módulo de elasticidad al 12% de contenido de humedad (P<sub>12</sub>):

$$P_{conocido} = P_{12} \times \left(\frac{P_{12}}{P_g}\right)^{\left(\frac{12-M}{M_p-12}\right)}$$

$$87,174.95 = P_{12} \times \left(\frac{P_{12}}{72,645.79}\right)^{\left(\frac{12-14.37}{25-12}\right)}$$

$$P_{12} = 90,791.56 \text{ kg/cm}^2$$

- Cálculo del módulo de elasticidad al 22% de contenido de humedad (P<sub>22</sub>):

$$P_{22} = P_{12} \times \left(\frac{P_{12}}{P_g}\right)^{\left(\frac{12-M}{M_p-12}\right)}$$

$$P_{22} = 90,791.56 \times \left(\frac{90,791.56}{72,645.79}\right)^{\left(\frac{12-14.37}{25-12}\right)}$$

$$P_{22} = 76,481.61 \text{ kg/cm}^2$$

**Módulo de elasticidad promedio = 76,481.61  $\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$  al 22% de C. H.**

## 7. Módulo de elasticidad mínimo

Módulo de elasticidad mínimo conocido = 50,198.35 kg/cm<sup>2</sup> (14.37% C.H.)

- Cálculo de módulo de elasticidad en condición verde:  $50,198.35/1.20 = 41,831.96 \text{ kg/cm}^2$
- Cálculo del módulo de elasticidad al 12% de contenido de humedad ( $P_{12}$ ):

$$P_{conocido} = P_{12} \times \left(\frac{P_{12}}{P_g}\right)^{\left(\frac{12-M}{M_p-12}\right)}$$

$$50,198.35 = P_{12} \times \left(\frac{P_{12}}{41,831.96}\right)^{\left(\frac{12-14.37}{25-12}\right)}$$

$$P_{12} = 52,280.92 \text{ kg/cm}^2$$

- Cálculo del módulo de elasticidad al 22% de contenido de humedad ( $P_{22}$ ):

$$P_{22} = P_{12} \times \left(\frac{P_{12}}{P_g}\right)^{\left(\frac{12-M}{M_p-12}\right)}$$

$$P_{22} = 52,280.92 \times \left(\frac{52,280.92}{41,831.96}\right)^{\left(\frac{12-14.37}{25-12}\right)}$$

$$P_{22} = 44,040.75 \text{ kg/cm}^2$$

**Módulo de elasticidad mínimo =  $44,040.75 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$  al 22% de C. H.**

#### 7.3.1.4 Resumen de los esfuerzos y módulos de elasticidad ajustados por contenido de humedad

A continuación, se presenta el resumen de los esfuerzos admisibles y módulos de elasticidad ajustados por contenido de humedad según la norma NTC 6563:2021, norma NSR-10 y el Laboratorio de Productos Forestales (LPF):

Tabla N° 49. Resumen de propiedades ajusta al 22% de contenido de humedad.

Propiedad ajustada al 22% de CH (en kg/cm²)							
Referencia	Flexión	Tracción	Compresión paralela	Compresión perpendicular	Corte paralelo	MOE promedio	MOE mínimo
NTC - 6563	62.37	47.14	57.09	-	-	76,779.53	44,212.31
NSR-10	58.43	38.64	58.91	10.76	2.67	74,805.35	43,075.51
LPF-USA	57.49	38.52	49.01	9.20	2.80	76,481.61	44,040.75
<b>Promedio</b>	<b>59.43</b>	<b>41.43</b>	<b>55.00</b>	<b>9.98</b>	<b>2.74</b>	<b>76,022.16</b>	<b>43,776.19</b>
Desviación estándar	2.12	4.04	4.30	0.78	0.06	868.97	500.38
Coefficiente de variación	0.04	0.10	0.08	0.08	0.02	0.01	0.01

En la tabla N° 49 se puede apreciar la desviación estándar y el coeficiente de variación entre los valores calculados con las 3 referencias indicadas. Además, el promedio de los valores obtenidos, el cual, será la propiedad admisible para la propuesta del nuevo grupo estructural.

### 7.3.2 Densidad básica

Para la elaboración de la presente tesis no se realizaron ensayos de densidad básica en la especie Pashaco debido a que existen publicaciones y estudios anteriores sobre este tema.

A continuación, se presenta el resumen de las publicaciones con sus respectivos valores de densidad básica:

Tabla N° 50. Lista de publicaciones de densidad básica en la especie Pashaco.

DENSIDAD BÁSICA (DB) g/cm <sup>3</sup>	
ESTUDIO	PROMEDIO
Estudio tecnológico de maderas del Perú (zona Pucallpa) - características tecnológicas y usos de 40 especies del bosque Alexander Von Humboldt	0.45
Herrera, G. 2016. "Clasificación estructural de la madera Pashaco ( <i>Albizzia sp.</i> )". Tesis de grado / Universidad Nacional de Ingeniería	0.39
Corrales, A. 2018. "Uniones estructurales clavadas con madera Pashaco ( <i>Albizzia sp.</i> )" Tesis de grado / Universidad Nacional de Ingeniería. (Probetas con 4 clavos).	0.32
Corrales, A. 2018. "Uniones estructurales clavadas con madera Pashaco ( <i>Albizzia sp.</i> )" Tesis de grado / Universidad Nacional de Ingeniería. (Probetas con 6 clavos).	0.36
Corrales, A. 2018. "Uniones estructurales clavadas con madera Pashaco ( <i>Albizzia sp.</i> )" Tesis de grado / Universidad Nacional de Ingeniería. (Probetas con 8 clavos).	0.34
Valdivia, J. 2021. "Desarrollo y evaluación del tratamiento térmico para las maderas comerciales peruanas de alta y baja densidad "Capirona" y "Pashaco". Tesis de grado / Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa.	0.32
Santiago, Guevara y Espinoza, 2013. "Manual de transformación de la madera – Proyecto: Utilización industrial y mercado de diez especies maderables potenciales de bosques secundarios y primarios residuales". Ministerio de Agricultura. Lima.	0.28
Confederación peruana de la madera, 2008. "Compendio de información técnica de 32 especies forestales – Tomo II". 2° edición. Lima.	0.40

Para la propuesta del nuevo grupo estructural, la determinación de la densidad básica de la especie Pashaco será dada por el promedio de los valores publicados en las tesis de grado de Herrera (2016), Corrales (2018) y Valdivia (2018) ya que se conoce el número de probetas ensayadas para cada trabajo de investigación.

En la tabla N° 51, se observa el cálculo y determinación de la densidad básica de la especie Pashaco.

Tabla N° 51. Cálculo de la densidad básica de la especie Pashaco.

CÁLCULO DE LA DENSIDAD BÁSICA DE LA ESPECIE PASHACO			
ESTUDIO	DENSIDAD BÁSICA	NÚMERO DE PROBETAS ENSAYADAS	PARCIAL (DB x # PROBETAS)
Herrera, G. 2016.	0.394	30.00	11.82
Corrales, A. 2018. (Probetas con 4 clavos).	0.320	40.00	12.80
Corrales, A. 2018. (Probetas con 6 clavos).	0.361	40.00	14.44
Corrales, A. 2018. (Probetas con 8 clavos).	0.342	40.00	13.68
Valdivia, J. 2021.	0.323	8.00	2.58
<b>SUMATORIA</b>		<b>158.00</b>	<b>55.32</b>
<b>PROMEDIO DENSIDAD BÁSICA (g/cm<sup>3</sup>)</b>		<b>0.35</b>	

### 7.3.3 Propuesta de nuevo grupo estructural de madera

Con los cálculos de la densidad básica, los esfuerzos admisibles y el módulo de elasticidad se presenta la propuesta del Grupo D para maderas de uso estructural para la norma E.010 Madera:

- Densidad Básica:

Tabla N° 52. Densidad básica propuesta para el Grupo D.

Grupo	Densidad Básica g/cm <sup>3</sup>
A	≥ 0.71
B	0.56 a 0.70
C	0.40 a 0.55
<b>D</b>	<b>0.35 a 0.39</b>

- Módulos de Elasticidad:

Tabla N° 53. Módulo de elasticidad propuesto para el Grupo D.

Grupo	Módulo de Elasticidad (E) Mpa (kg/cm <sup>2</sup> )	
	E mínimo	E promedio
A	9 316 (95 000)	12 748 (130 000)
B	7 355 (75 000)	9 806 (100 000)
C	5 394 (55 000)	8 826 (90 000)
<b>D</b>	<b>4 315 (44 000)</b>	<b>7 453 (76 000)</b>

- Esfuerzos Admisibles

Tabla N° 54. Esfuerzos admisibles propuestos para el Grupo D.

Grupo	Esfuerzos Admisibles Mpa (kg/cm <sup>2</sup> )				
	Flexión $f_m$	Tracción Paralela $f_t$	Compresión Paralela $f_{c//}$	Compresión Perpendicular $f_{c\perp}$	Corte Paralelo $f_v$
A	20.6 (210)	14.2 (145)	14.2 (145)	3.9 (40)	1.5 (15)
B	14.7 (150)	10.3 (105)	10.8 (110)	2.7 (28)	1.2 (12)
C	9.8 (100)	7.3 (75)	7.8 (80)	1.5 (15)	0.8 (8)
<b>D</b>	<b>5.8 (59)</b>	<b>4.0 (41)</b>	<b>5.4 (55)</b>	<b>1.0 (10)</b>	<b>0.3 (3)</b>

- Lista de especies agrupadas

Tabla N° 55. Lista de especies agrupadas, incluyendo el Grupo D propuesto.

	NOMBRE		GRUPO
	COMÚN	CIENTÍFICO	
1	AZUCAR HUAYO	<i>Hymenaea oblongifolia</i>	A
2	ESTORAQUE	<i>Miroxylon peruiferum</i>	
3	HUACAPU	<i>Minuartia guianensis</i>	
4	PUMAQUIRO	<i>Aspidosperma macrocarpon</i>	
5	QUINILLA COLORADA	<i>Manilkara bidentata</i>	
6	SHIHUAHUACO MARRON	<i>Dipteryx odorata</i>	
7	AGUANO MASHA	<i>Machaerium inundatum</i>	B
8	ANA CASPI	<i>Apuleia leiocarpa</i>	
9	CACHIMBO COLORADO	<i>Cariniana domestica</i>	
10	CAPIRONA	<i>Calycophyllum spruceanum</i>	
11	HUAYRURO	<i>Ormosia coccinea</i>	
12	MANCHINGA	<i>Brosimum uleanum</i>	
13	BOLAINA BLANCA	<i>Guazuma crinita</i>	C
14	CATAHUA AMARILLA	<i>Hura crepitans</i>	
15	COPAIBA	<i>Copaifera officinalis</i>	
16	DIABLO FUERTE	<i>Podocarpus rospigliosii</i>	
17	LAGARTO CASPI	<i>Calophyllum brasiliense</i>	
18	MASHONASTE	<i>Clarisia racemosa</i>	
19	MOENA AMARILLA	<i>Aniba amazónica</i>	
20	MOENA ROSADA	<i>Ocotea bofo</i>	
21	PANGUANA	<i>Brosimum utile</i>	
22	PAUJILRURO BLANCO	<i>Pterygota amazónica</i>	
23	TORNILLO	<i>Credelinga cateniformis</i>	
24	UTUCURO	<i>Septotheca tessmannii</i>	
25	YACUSHAPANA	<i>Terminalia oblonga</i>	
26	PASHACO	<i>Albizzia sp.</i>	D

## CONCLUSIONES

Los esfuerzos admisibles de compresión paralela al grano y compresión perpendicular, propuestos para el grupo D, representan aproximadamente el 68% del esfuerzo admisible establecido para el grupo C de la norma.

Los esfuerzos admisibles de tracción paralela a las fibras y flexión, propuestos para el grupo D, representan aproximadamente el 57% del esfuerzo admisible establecido para el grupo C de la norma.

El esfuerzo admisible de corte paralelo al grano, propuesto para el grupo D, representa el 37.50% del esfuerzo admisible establecido para el grupo C de la norma.

El módulo de elasticidad promedio y módulo de elasticidad mínimo, propuestos para el grupo D, representan aproximadamente el 80% del módulo de elasticidad establecido para el grupo C de la norma.

En general, con las metodologías de las normas colombianas NTC:6563 y NSR-10 se obtuvieron mayores valores de ajuste por contenido de humedad, mientras que con la metodología LPF-USA se obtienen valores más conservadores.

Los esfuerzos obtenidos en la presente tesis más los resultados obtenidos en la tesis de Herrera Ñañez ("Clasificación estructural de la madera Pashaco", 2016) y la tesis de Corrales Porras ("Uniones estructurales clavadas con madera Pashaco", 2018) complementan la información necesaria para realizar diseños estructurales con la madera Pashaco.

La madera Pashaco, por sus características mecánicas, se puede utilizar para construcciones ligeras como viviendas económicas, pérgolas, kioscos y otras estructuras similares.

Existe limitada información sobre el ajuste de propiedades de la madera por contenido de humedad.

En los gráficos de esfuerzo límite proporcional (ELP) VS contenido de humedad (CH) de los ensayos de compresión paralela y compresión perpendicular al grano obtenidos, no se aprecia de manera clara la tendencia de “a menor contenido de humedad aumenta la resistencia”. Esto se debe principalmente a que las probetas fueron ensayadas en un intervalo de [13.00% - 16.00%], limitando el rango de visualización del comportamiento de la propiedad con respecto a la variación del contenido de humedad. Efecto similar se visualiza en los gráficos de módulo de rotura (MOR) VS contenido de humedad (CH) para el ensayo de tracción paralela a las fibras y en los gráficos de resistencia al corte VS contenido de humedad (CH) para el ensayo de corte paralelo al grano, donde el intervalo de contenido de humedad de las probetas fue de [13.50% - 15.00%].

## RECOMENDACIONES

Se recomienda tomar en cuenta los datos obtenidos en la presente tesis para la creación oficial del nuevo grupo de maderas para uso estructural (Grupo D) en la norma técnica peruana E.010.

Se recomienda realizar investigaciones complementarias en especies maderables que tienen potencial de pertenecer al nuevo grupo de maderas para uso estructural (Grupo D). Se plantea, por ejemplo, realizar investigaciones en las especies Oje Renaco (*Ficus schultesii dugand*) y Oje Blanco (*Ficus anthelmíntica mart.*).

Se recomienda realizar investigaciones sobre la variación de las propiedades mecánicas de las especies maderables que se pueden explotar en el Perú con respecto a su contenido de humedad con la finalidad de conocer su comportamiento ante las condiciones de humedad propias de la ubicación del proyecto de construcción.

En el caso de realizar investigaciones sobre la variación de las propiedades mecánicas con respecto al contenido de humedad de la especie Pashaco, se pueden utilizar los datos obtenidos en la presente tesis ya que se realizaron siguiendo los procedimientos establecidos en las normas técnicas peruanas INACAL.

Para poder visualizar una tendencia clara del comportamiento de la propiedad tecnológica con respecto al contenido de humedad, se recomienda realizar ensayos en probetas con un rango de contenido de humedad de [12% - 25%]. La cantidad de probetas recomendada para realizar estudios en este rango de contenido de humedad es mínimo 300.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aróstegui, A., González, V. y Sato, A. (1986). Propiedades tecnológicas y usos de la madera de 40 especies del bosque nacional Alexander Von Humboldt. *Revista Forestal del Perú*, v.10 (1-2), 1 - 86. [http://cedinfor.lamolina.edu.pe/Articulos\\_RFP/Vol10\\_no1-2\\_80-81\\_\(14\)/vol10\\_art1.pdf](http://cedinfor.lamolina.edu.pe/Articulos_RFP/Vol10_no1-2_80-81_(14)/vol10_art1.pdf)
- Bardales, F., Benavente, C., Bravo de Rueda, D., Pérez, R., Sánchez, M., Ugarte, J. (2009). *Técnicas de secado de la madera*. Centro de Innovación Tecnológico de la Madera (CITEmadera). [https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/571600/03.\\_T%C3%A9cnicas\\_de\\_secado.pdf](https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/571600/03._T%C3%A9cnicas_de_secado.pdf)
- Chavesta, M. (2005). *Manual de identificación de maderas. Laboratorio de Anatomía de la madera* de la Universidad Nacional Agraria La Molina. <https://es.scribd.com/document/438261567/Manual-de-Identificacion-anatomica-de-especies-forestales>
- Comisión asesora permanente para el régimen de construcciones sismo resistentes (2010). *Reglamento colombiano de construcción sismo resistente (NSR-10)*. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial - Colombia.
- Confederación peruana de la madera (2008). *Compendio de información técnica de 32 especies forestales – Tomo II. 2° edición*. Centro de Innovación Tecnológico de la Madera (CITEmadera). <https://es.scribd.com/document/98192775/Compendio-de-32-Especies-Maderables-Tomo-II>
- Corrales, A. (2018). *Uniones estructurales clavadas con madera Pashaco (Albizzia sp.)* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio Institucional Universidad Nacional de Ingeniería. <https://repositorio.uni.edu.pe/handle/20.500.14076/16441>
- Escuela universitaria de oficios – Universidad Nacional de La Plata (2021). *Clase 3 / Carpintería II: Introducción a las estructuras de madera. Esfuerzos y solicitaciones*. Universidad Nacional de La Plata. <https://unlp.edu.ar/frontend/media/93/27493/dc730fc71db43a52eed5b8133bb2f8c8.pdf>
- Herrera, G. (2016). *Clasificación estructural de la madera Pashaco (Albizzia sp.)* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio

- Institucional Universidad Nacional de Ingeniería.  
<https://repositorio.uni.edu.pe/handle/20.500.14076/5529>
- Hinostroza, R. (2012). *Clasificación estructural de la madera "Oje Renaco"* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio Institucional UNI. <https://repositorio.uni.edu.pe/handle/20.500.14076/3411>
- ICONTEC (2021). *Norma técnica colombiana NTC 6563. Práctica normalizada para establecer las propiedades admisibles para madera aserrada dimensional clasificada visualmente a partir de ensayos de grados de madera de tamaño completo (NTC 6563:2021)*. ICONTEC.
- INACAL (2015). *Método para determinar el cizallamiento paralelo al grano (NTP 251.013 - 3° Edición)*. INACAL.
- INACAL (2015). *Método para determinar la compresión perpendicular al grano (NTP 251.016 - 3° Edición)*. INACAL.
- INACAL (2016). *Acondicionamiento de las maderas destinadas a los ensayos físicos y mecánicos (NTP 251.009 - 2° Edición)*. INACAL.
- INACAL (2017). *Determinación de la tensión paralela a las fibras (NTP 251.085 - 1° Edición)*. INACAL.
- INACAL (2017). *Madera aserrada para uso estructural. Clasificación visual y requisitos (NTP 251.104 - 1° Edición)*. INACAL.
- INDECOPI (2014). *Método para determinar la compresión axial o paralela al grano (NTP 251.014 - 3° Edición)*. INDECOPI.
- INDECOPI (2014). *Métodos para determinar el contenido de humedad (NTP 251.010 - 3° Edición)*. INDECOPI.
- Inga, M. (2000). *Influencia del contenido de humedad en las propiedades mecánicas de la madera Paliperro* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Martín]. Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de San Martín. <https://tesis.unsm.edu.pe/handle/11458/354>
- Jiménez, H., Ascencio, R. y Barreto, L. (2016). *Uso de la madera en encofrados*. Servicio Nacional de Capacitación para la industria de la Construcción – SENCICO.  
<https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/4768972/Uso%20de%20la%20madera%20en%20encofrados.pdf?v=1687890047>
- Junta del Acuerdo de Cartagena (JUNAC) (1984). *Manual de diseño para maderas del grupo andino*. Comunidad Andina.

- <https://www.comunidadandina.org/biblioteca-andinoteca/manual-de-diseno-para-maderas-del-grupo-andino/>
- Laboratorio de Productos Forestales (2010). *Manual de la madera: la madera como material de ingeniería*. Departamento de Agricultura de Estados Unidos. <https://www.virtualpro.co/biblioteca/manual-de-la-madera-la-madera-como-material-de-ingenieria>
- Montero, D. (2010). *Resistencia a la flexión estática de madera de Pinus Radiata D. Don impregnada con cobre alcalino cuaternario (ACQ-D)* [Tesis de pregrado, Universidad de Chile]. Repositorio académico de la Universidad de Chile. <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/151545>
- Navarrete, P. (2017). *Clasificación estructural de la especie forestal Ojé Blanco (Ficus Anthelmíntica Mart.)* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio Institucional Universidad Nacional de Ingeniería. <https://repositorio.uni.edu.pe/handle/20.500.14076/12310>
- PADT-REFORT/JUNAC (1984). *Manual de Clasificación Visual para madera estructural*. Junta del Acuerdo de Cartagena.
- Reglamento Nacional de Edificaciones (2014). *Agrupamiento de maderas para uso estructural* (E.010). Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento.
- Santiago, P., Guevara, C. y Espinoza, M. (2013). *Manual de transformación de la madera*. Ministerio de Agricultura. [https://www.itto.int/files/itto\\_project\\_db\\_input/2929/Technical/Technical%20report%20-%20Manual%20de%20transformacion%20de%20la%20madera.pdf](https://www.itto.int/files/itto_project_db_input/2929/Technical/Technical%20report%20-%20Manual%20de%20transformacion%20de%20la%20madera.pdf)
- Sociedad Americana para Pruebas y Materiales (ASTM) (1999). *Práctica estándar para establecer grados estructurales y propiedades permitidas relacionadas para madera clasificada visualmente* (D 245-99). ASTM.
- Spavento, E. – Keil, G. (2008). *Propiedades mecánicas de la madera*. Universidad Nacional de La Plata. <https://es.scribd.com/document/386389315/Asd>
- Valdivia, J. (2021). *Desarrollo y evaluación del tratamiento térmico para las maderas comerciales peruanas de alta y baja densidad* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa]. Repositorio UNSA. <https://repositorio.unsa.edu.pe/items/f27fbeb7-2e5d-4a1d-aff6-8c0f7ee62bb7>