

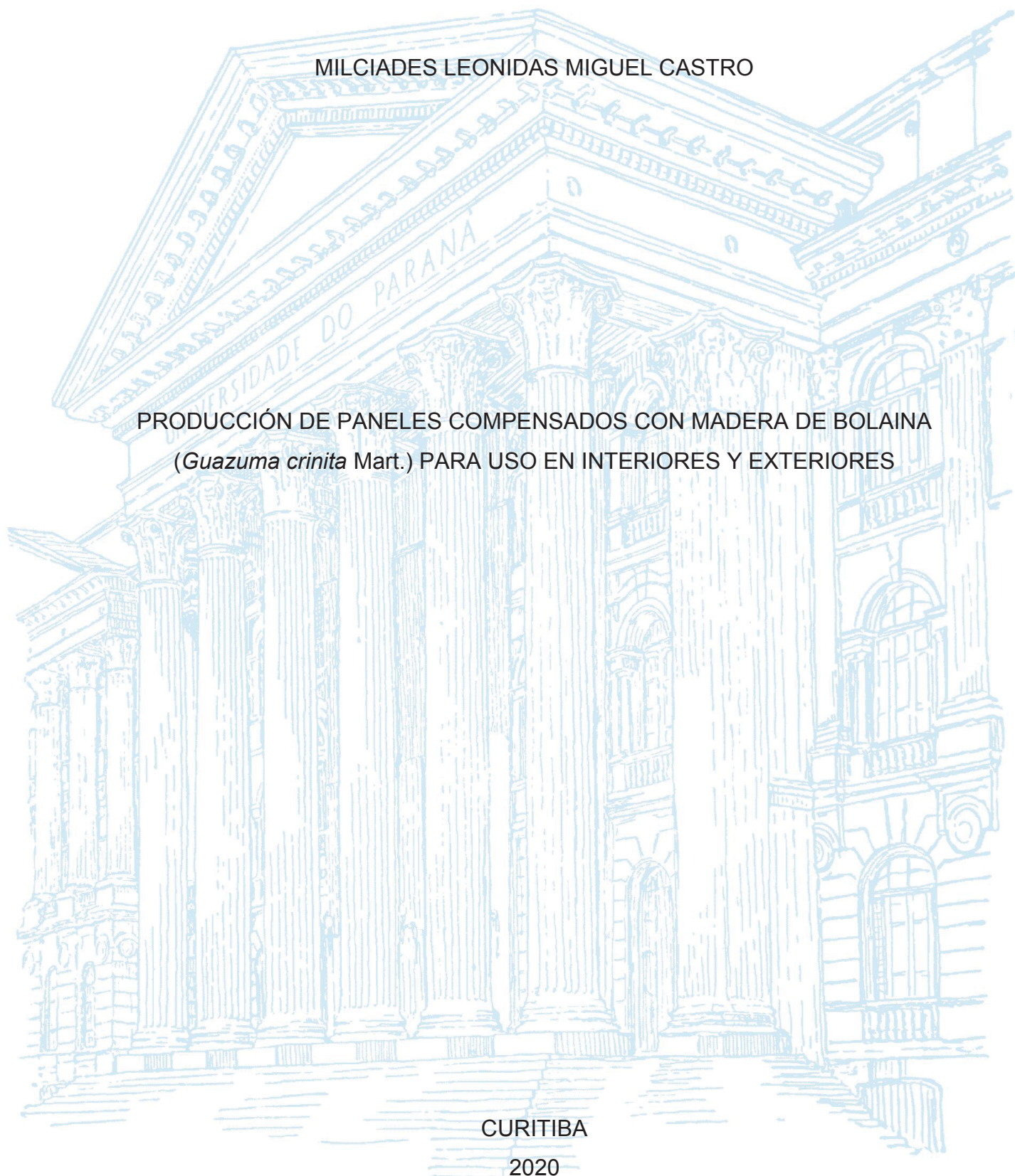
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

MILCIADES LEONIDAS MIGUEL CASTRO

PRODUCCIÓN DE PANELES COMPENSADOS CON MADERA DE BOLAINA  
(*Guazuma crinita* Mart.) PARA USO EN INTERIORES Y EXTERIORES

CURITIBA

2020



MILCIADES LEONIDAS MIGUEL CASTRO

PRODUCCIÓN DE PANELES COMPENSADOS CON MADERA DE BOLAINA  
(*Guazuma crinita* Mart.) PARA USO EN INTERIORES Y EXTERIORES.

Tese apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Engenharia Florestal, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Setsuo Iwakiri

Coorientadores: Prof. Dra. Rosilani Trianoski  
Prof. PhD.Hector E. Gonzáles Mora

CURITIBA

2020

Ficha catalográfica elaborada pela  
Biblioteca de Ciências Florestais e da Madeira – UFPR

Miguel Castro, Milciades Leónidas  
Producción de paneles compensados con madera de bolaina  
(*Guazuma crinita* Mart.) para uso en interiores y exteriores / Milciades  
Leónidas Miguel Castro. - Curitiba, 2020.  
123 f. : il.

Orientador: Prof. Dr. Setsuo Iwakiri  
Coorientadores: Profa. Dra. Rosilani Trianoski  
Prof. PhD. Hector Enrique Gonzáles Mora

Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências  
Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal.  
Defesa: Curitiba, 28/08/2020.  
Área de concentração: Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais

1. Painéis de madeira - Qualidade - Peru. 2. Lâminas de madeira - Peru.  
3. Compensados de madeira - Peru. 4. Madeira - Produtos. 5. Teses.  
I. Iwakiri, Setsuo. II. Trianoski, Rosilani. III. Gonzáles Mora, Hector Enrique.  
IV. Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias. V. Título.

CDD – 634.9  
CDU – 634.0.832.2(85)

Bibliotecária: Berenice Rodrigues Ferreira – CRB 9/1160



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO SETOR  
DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO ENGENHARIA  
FLORESTAL - 40001016015P0

## TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em ENGENHARIA FLORESTAL da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da tese de Doutorado de **MILCIADES LEÓNIDAS MIGUEL CASTRO** intitulada: **PRODUCCIÓN DE PANELES COMPENSADOS CON MADERA DE BOLAINA (*Guazuma crinita* Mart.) PARA USO EN INTERIORES Y EXTERIORES.**, sob orientação do Prof. Dr. SETSUO IWAKIRI, que após terem inquirido o aluno e realizada a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua APROVAÇÃO no rito de defesa.

A outorga do título de doutor está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

CURITIBA, 28 de Agosto de 2020.

Assinatura Eletrônica  
29/08/2020 09:29:48.0  
SETSUO IWAKIRI Presidente da  
Banca Examinadora

Assinatura Eletrônica  
29/08/2020 08:42:47.0  
CARLOS FREDERICO ALICE PARCHEN  
Avaliador Externo (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

Assinatura Eletrônica  
31/08/2020 18:26:53.0  
ADAUTO JOSÉ MIRANDA DE LIMA  
Avaliador Externo (UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO  
PARANÁ)

Assinatura Eletrônica  
29/08/2020 12:36:54.0  
JOSÉ GUILHERME PRATA  
Avaliador Interno (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

Assinatura Eletrônica  
28/08/2020 22:43:28.0  
CARLOS EDUARDO CAMARGO DE ALBUQUERQUE  
Avaliador Externo (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

## DEDICATORIA

“Esta tesis la dedico a Dios por haberme dado salud, sabiduría, fortaleza y protección en el trayecto de mi vida, para cumplir con mis responsabilidades familiares, laborales y personales. A la memoria de mis padres quienes me enseñaron que el mejor conocimiento que se puede tener es el que se aprende por sí mismo.”

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios por haberme dado salud, sabiduría y fortaleza guiándome en el trayecto de mi existencia, ser el apoyo y fortaleza en aquellos momentos de dificultad y de debilidad para alcanzar mis metas como persona y como profesional.

A mi Orientador profesor Dr. Setsuo Iwakiri, por dedicar su valioso tiempo en compartir sus conocimientos, su asesoramiento constante para la cumplir con las exigencias de los estudios del doctorado hasta culminar con la defensa de la tesis y por su amistad.

A los profesores Dra. Rosilani Trianoski y Ph.D. Héctor Enrique Gonzales Mora, por su coorientación y acompañamiento para el cumplimiento de las diferentes etapas de los estudios de doctorado.

A los profesores miembros de la banca de examinadora Dr. Carlos Frederico Alice Parchen, Dr. Aduino José Miranda de Lima, Dr. José Guilherme Prata y Dr. Carlos Eduardo Camargo de Albuquerque, por su contribución, mediante sus acertados comentarios y sugerencias realizadas, para mejorar el trabajo de investigación.

A los Profesores Programa de Post - Graduación en Ingeniería Forestal, Sector Ciencias Agrarias, Universidad Federal de Paraná; Prof. Dr. Marcio Pereira da Rocha, Prof. Dr. Nilton Souza, Prof. Dr. Romano Timofeiczuk, Prof. Dr. Jorge Mattos y Prof. Dr. Ricardo Klitzke por compartir sus conocimientos de las cátedras a su cargo y por su valiosa amistad.

Al señor Edgardo Alvarez Angulo, Gerente General de la empresa Maderas y Triplay de Exportación (MAYTE), por brindar todas las facilidades en las instalaciones de su empresa, para realizar una de las etapas más importantes de la investigación, el proceso de laminado de las trozas de bolaina.

Al señor Ing. Hugo Segovia Chocce, Jefe de Producción de la empresa Industrial Ucayali S.A.C. (IUSAC), por la donación de las láminas de lupuna para la producción de los paneles del trabajo de investigación.

Al señor Germán Barrientos Torres, por su valioso apoyo en la producción de los paneles compensados del presente trabajo de investigación.

Al señor Jaime Borja Navarro, por su valioso apoyo en la determinación y evaluación de las propiedades físicas de la madera y de los paneles del presente trabajo de investigación.

Al PhD. Enrique Ricardo Flores Mariazza, Rector de la Universidad Nacional Agraria La Molina, por su valioso apoyo en establecer e impulsar el Convenio con la Universidad Federal de Paraná, para realizar nuestros estudios de doctorado, así como por su apoyo para culminar con éxito mi meta trazada profesionalmente.

## RESUMO

O Peru é um importante produtor de painéis compensados com espécies florestais nativas, das quais *Ceiba pentandra* (L) Gaertn é a mais utilizada. O objetivo desta pesquisa foi avaliar a qualidade dos painéis compensados produzidos com lâminas de bolaina *Guazuma crinita* Mart. e lupuna (*Ceiba pentandra* (L) Gaertn) como espécie de referência. Em laboratório, foram produzidos painéis compensados com cinco camadas utilizando lâminas de 2,2 mm de espessura, coladas com resinas de uréia-formaldeído (UF) e fenol-formaldeído (FF) com duas diferentes formulações de cola e três composições de lâminas. Foram utilizadas quatro árvores de bolaina de uma plantação experimental de 15 anos, localizada em Manantay, as lâminas de lupuna foram doadas pela Industrial Ucayali SAC. Amostras foram preparadas para determinar as características anatômicas, densidade básica e propriedades químicas da madeira de bolaina. Os painéis foram produzidos com dimensões de 600 mm x 600 mm e 10 mm de espessura, de acordo com um arranjo fatorial (3x2), sendo três composições de lâminas por painel 100% bolaina, 100% lupuna e 40% bolaina e 60% lupuna, e duas formulações de cola A: 45,9% e B: 35,8% de sólidos totais para UF; B: 40% e C: 34,3% de sólidos totais para FF; com gramatura de 380 g/m<sup>2</sup> em linha de cola dupla. Os painéis foram prensados com pressão específica de 0,6 MPa, temperatura de 115 °C e tempo de prensagem de 8 min para uréia-formaldeído; e 1,0 MPa, 130 ° C e tempo de prensagem de 6 min para fenol-formaldeído. As propriedades físicas (absorção, inchamento e inchamento mais recuperação em espessura), a resistência da linha de cola à tensão de cisalhamento EN 314-1(CEN, 2004) e EN 314-2(CEN,1993) e flexão estática paralela e perpendicular (EN 310: 1993). Os resultados obtidos para a madeira de bolaina indicaram uma densidade básica de 0,42 g/cm<sup>3</sup> e um rendimento de laminação de 32,71%, considerado baixo, devido ao pequeno diâmetro das toras e ao desenho do torno desfolhador. Os resultados das propriedades físicas e resistência mecânica dos painéis indicaram que o efeito da formulação não influencia significativamente os valores obtidos, sendo que, os maiores valores correspondem aos painéis de bolaina e os menores aos de lupuna, o que representa um aspecto importante do ponto de vista econômico; entretanto, a interação da formulação com as espécies utilizadas tem influência significativa nos resultados dessas propriedades. Os valores médios de MOE paralelo e perpendicular dos painéis de bolaina e lupuna, tomando como referência o catálogo técnico da ABIMCI (2002), para painéis comerciais de *Pinus taeda* com massa específica de 0,53 g/cm<sup>3</sup>, podem ser considerados satisfatórios, enquanto os valores de MOR são superiores aos valores de referência. A resistência ao cisalhamento e a percentagem de falha na madeira dos painéis atendem aos requisitos mínimos da norma EN 314-2 (CEN,1993). Os resultados obtidos indicam a viabilidade de uso de lâminas de *Guazuma crinita* Mart. (bolaina), para a produção de painéis compensados para uso interno e externo.

Palavras-chave: Compensado. Lâminas da madeira. Formulação de cola. Resistência da linha de cola. Compactação. Pressão específica.

## ABSTRACT

Peru is an important producer of plywood with native forest species, of which *Ceiba pentandra* (L) Gaertn is the most used. The objective of the research was evaluate the quality of the plywood produced with *Guazuma crinita* Mart. bolaina veneers and lupuna (*Ceiba pentandra* (L) Gaertn) as a reference species. Five-layer plywood boards were produced in the laboratory, using wood veneers of 2.2 mm thickness and glued with urea-formaldehyde (UF) and phenol-formaldehyde (FF) resins with two different glue formulations and three wood veneers compositions. Four bolaina trees from a 15-year experimental plantation, located in Manantay, were used. The lupuna veneers were donated by the Industrial Ucayali SAC. Samples were prepared to determine the anatomical characteristics, basic density and chemical properties of the bolaina wood. The panels were produced with dimensions of 600 mm x 600 mm and 10 mm thick, according to a factorial arrangement (3x2), with three compositions of veneers per panel 100% bolaina veneers, 100% lupuna veneers and 40% bolaina veneers and 60% lupuna veneers and two glue formulations A: 45.9% and B: 35.8% of total solids for UF; B: 40% and C: 34.3% of total solids for FF; a grammage of 380 g/m<sup>2</sup> in double glue line. The panels were pressed with a specific pressure of 0.6 MPa, a temperature of 115 °C and 8 min pressing time for urea-formaldehyde; and 1.0 MPa, 130 ° C and 6 min pressing time for phenol-formaldehyde. The physical properties (absorption, swelling and swelling plus recovery in thickness), the resistance of the glue line to shear stress EN 314-1(CEN, 2004) and EN 314-2(CEN,1993) and static parallel bending and perpendicular EN 310(CEN, 1993). The results obtained for bolaina wood determine a basic density of 0.42 g/cm<sup>3</sup> and rolling yield of 32.71%, considered low, due to the small diameter of the logs and the design of the rolling lathe. The results of the physical properties and mechanical resistance of the panels they indicated that the formulation effect does not significantly influence the values obtained, being that, the highest values correspond to bolaina plywood boards and the lowest to those of lupuna, which represents an important aspect from the economic point of view which represents an important aspect. However, the formulation interaction with the species used does have a significant influence on the results of these properties. The mean values of parallel and perpendicular MOE of the bolaina and lupuna panels, taking as a reference the technical catalog of ABIMCI (2002), For commercial *Pinus taeda* panels with a specific mass of 0.53 g / cm<sup>3</sup>, they can be considered satisfactory, whereas the MOR values are higher than the reference values. The shear strength and the failure rate of the wood of the panels meet the minimum requirements of the EN 314-2 (CEN,1993) standard. The results obtained indicate the feasibility of using veneer of *Guazuma crinita* Mart. (bolaina), for the production of plywood boards for internal and external use.

Keywords: Plywood. Wood veneer. Glue formulation. Glue line resistance. Compaction Specific pressure.

## RESUMEN

Perú es un importante productor de paneles compensados con especies de bosques nativos de las cuales, *Ceiba pentandra* (L) Gaertn es la más utilizada. El objetivo de la investigación fue evaluar la calidad de los paneles compensados producidos con láminas de bolaina *Guazuma crinita* Mart. y lupuna (*Ceiba pentandra* (L) Gaertn) como especie referencial. Se produjeron, en laboratorio, tableros contrachapados de cinco capas, utilizando láminas de 2,2 mm de espesor y encolados con resinas urea-formaldehído (UF) y fenol-formaldehído (FF) con dos formulaciones de cola diferentes y tres composiciones de láminas. Fueron utilizados cuatro árboles de bolaina provenientes de una plantación experimental de 15 años, localizada en Manantay. Las láminas de lupuna fueron donadas por la empresa Industrial Ucayali SAC. Se prepararon muestras para determinar las características anatómicas, densidad básica y propiedades químicas de la madera de bolaina. Los paneles fueron producidos con dimensiones de 600 mm x 600 mm y 10 mm de espesor, de acuerdo a un arreglo factorial (3x2), siendo tres composiciones de láminas por panel 100% láminas bolaina, 100% láminas de lupuna y 40% láminas de bolaina y 60% láminas de lupuna y dos formulaciones de cola A:45,9% y B:35,8% de sólidos totales para UF; B:40% y C:34,3% de sólidos totales para FF; un gramaje de 380 g/m<sup>2</sup> en doble línea de cola. Los paneles fueron prensados con una presión específica de 0,6 MPa, temperatura de 115 °C y 8 min de tiempo de prensado para urea-formaldehído; y 1,0 MPa, 130 °C y 6 min de tiempo de prensado para fenol-formaldehído. Fueron evaluadas las propiedades físicas (absorción, hinchamiento e hinchamiento más recuperación en espesor), la resistencia de la línea de cola a los esfuerzos de cizallamiento EN 314-1 (CEN, 2004) y EN 314-2 (CEN,1993) y flexión estática paralelo y perpendicular EN 310(CEN,1993). Los resultados obtenidos para la madera de bolaina indicaron una densidad básica de 0,42 g/cm<sup>3</sup> y un rendimiento de laminado de 32,71%, considerado bajo, debido al pequeño diámetro de las trozas y al diseño del desenrollador. Los resultados de las propiedades físicas y de resistencia mecánica de los paneles, indicaron que el efecto formulación no influye significativamente en los valores obtenidos, siendo que, los mayores valores corresponden a los paneles de bolaina y los menores a los de lupuna, lo que representa un aspecto importante desde el punto de vista económico; sin embargo, la interacción formulación con la especie utilizada si tiene una influencia significativa en los resultados de dichas propiedades. Los valores medios de MOE paralelo y perpendicular de los paneles de bolaina y lupuna, tomando como referencia el catálogo técnico de ABIMCI (2002), para los paneles comerciales de *Pinus taeda* de masa específica de 0,53 g/cm<sup>3</sup>, pueden ser considerados satisfactorios, en cambio los valores de MOR son superiores a los valores referenciales. La resistencia al cizallamiento y el porcentaje de falla de la madera de los paneles, cumplen con los requisitos mínimos de la norma EN 314-2 (CEN,1993). Los resultados obtenidos indican la viabilidad del uso de láminas de *Guazuma crinita* Mart. (bolaina), para la producción paneles compensados para uso interno y externo.

**Palabras claves:** Compensados. Láminas de madera. Formulación de cola. Resistencia de la línea de cola. Compactación. Presión específica.

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - ÁRBOL DE BOLAINA ( <i>Guazuma crinita</i> Mart.).....	27
FIGURA 2 - TROZA DE BOLAINA ( <i>Guazuma crinita</i> Mart.)CARGADA EN EL TORNO DESENROLLADOR.. .....	29
FIGURA 3 - LAMINADO DE BOLAINA POR DESENROLLO.....	29
FIGURA 4 - LÁMINAS DE BOLAINA PREVIO AL TROQUELADO.....	29
FIGURA 5 - LÁMINAS DE BOLAINA TROQUELADAS.PARA PALITOS DE HELADOS .....	30
FIGURA 6 - LUPUNA BLANCA ( <i>Ceiba pentandra</i> (L.) GAERTN).....	31
FIGURA 7 - TROZAS DE LUPUNA BLANCA ( <i>Ceiba pentandra</i> (L.) GAERTN) PARA SER DESENROLLADAS.....	32
FIGURA 8 - DESENROLLO DE LUPUNA BLANCA ( <i>Ceiba pentandra</i> (L.) GAERTN) .....	33
FIGURA 9 - EVOLUCIÓN DE LA BALANZA COMERCIAL DEL SECTOR FORESTAL (2006-2015).....	34
FIGURA 10 - PRINCIPALES ESPECIES FORESTALES CON EXTRACCIÓN AUTORIZADA (m <sup>3</sup> ) ENTRE LOS AÑOS 2010 AL 2016 PARA TODAS LAS REGIONES DE PERÚ.....	36
FIGURA 11 - IDENTIFICACIÓN Y ROTULADO DE LOS ÁRBOLES DE BOLAINA SELECCIONADOS.....	51
FIGURA 12 - MAPA DE UBICACIÓN DE LA ZONA DE EXTRACCIÓN DE LOS ÁRBOLES DE BOLAINA Y OPERACIONES REALIZADAS .....	52
FIGURA 13 - CODIFICACIÓN DE LAS TROZAS DE BOLAINA .....	53
FIGURA 14 - TORNO DESENROLLADOR.....	55
FIGURA 15 - CUCHILLA DEL TORNO DESENROLLADOR. ....	56
FIGURA 16 - LAMINADO DE UNA TROZA DE BOLAINA. ....	56
FIGURA 17 - TROZA DE BOLAINA REDONDEADA. ....	56
FIGURA 18 - SECADOR DE LÁMINAS DE RODILLOS DE TRES NIVELES .....	57
FIGURA 19 - SECADO DE LÁMINAS DE BOLAINA.....	57
FIGURA 20 - EMPAQUETADO Y EMBALADO DE LÁMINAS DE BOLAINA DIMENSIONADAS. ....	58

FIGURA 21 - DIAGRAMA DEL ENSAMBLADO DE LOS PANELES DE CINCO CAPAS DE BOLAINA, LUPUNA Y BOLAINA/LUPUNA.....	62
FIGURA 22 - ENCOLADO MANUAL DE LÁMINAS DE BOLAINA (UF).....	63
FIGURA 23 - ENCOLADO MANUAL DE LÁMINAS DE LUPUNA (UF).....	63
FIGURA 24 - ENCOLADO MANUAL DE LÁMINAS DE BOLAINA (FF) .....	64
FIGURA 25 - PRENSA DE PLATOS CALIENTES .....	64
FIGURA 26 - PRENSADO DE PANELES ENCOLADOS CON ÚREA FORMALDEHIDO A UNA TEMPERATURA DE 115°C.....	65
FIGURA 27 - PRENSADO DE PANELES ENCOLADOS CON FENOL FORMALDEÍDO A UNA TEMPERATURA DE 130 °C. ....	65
FIGURA 28 - PANELES DE BOLAINA DESPUÉS DEL PRENSADO .....	66
FIGURA 29 - PLANO DE CORTE DE LAS PROBETAS PARA LOS ENSAYOS FÍSICOS Y MECÁNICOS .....	67
FIGURA 30 - PROBETAS PARA LOS ENSAYOS DE FLEXIÓN ESTÁTICA.....	68
FIGURA 31 - PROBETA PARA EL ENSAYO DE CIZALLAMIENTO DE LA LÍNEA DE COLA.....	68
FIGURA 32 – MÁQUINA UNIVERSAL PARA EL ENSAYO DE RESISTENCIA AL CIZALLAMIENTO.....	69
FIGURA 33 – ENSAYO DE CIZALLAMIENTO DE LA LÍNEA DE COLA .....	70
FIGURA 34 – FALLA DE LA PROBETA EN EL ENSAYO DE RESISTENCIA AL CIZALLAMIENTO DE LA LÍNEA DE COLA.....	70
FIGURA 35 – ENSAYO DE FLEXIÓN ESTÁTICA .....	71
FIGURA 36 - CORTES MICROSCÓPICOS DE BOLAINA ( <i>Guazuma crinita</i> Mart.) EN ORIENTACIÓN TRANSVERAL (A), TANGENCIAL (B) Y RADIAL (C) .....	73
FIGURA 37 - CORTES MICROSCÓPICOS DE LUPUNA BLANCA ( <i>Ceiba pentandra</i> (L) GARTN), EN ORIENTACIÓN TRANSVERSAL (A), TANGENCIAL (B) Y RADIAL (C) .....	74
FIGURA 38 - POLINES (ROLOS) LUEGO DEL DESENROLLO DE LAS TROZAS DE BOLAINA.....	78
FIGURA 39 - CORONAS DE 10,5 CM DE DIÁMETRO DEL TORNO DESENROLLADOR .....	78
FIGURA 40 - TROZA DE BOLAINA CON PRESENCIA DE NUDOS. ....	79
FIGURA 41 - TROZA DE BOLAINA CON PRESENCIA DE NUDOS.....	79

FIGURA 42 - LÁMINAS DE BOLAINA CON PRESENCIA DE NUDOS .....	79
FIGURA 43 - LÁMINAS DE BOLAINA SECAS DE ANCHOS IRREGULARES.....	80
FIGURA 44 - DIMENSIONADO DE LAS LÁMINAS DE BOLAINA.....	80
FIGURA 45 - CONTROL DE LA PRODUCCIÓN DEL LAMINADO DE BOLAINA.	81
FIGURA 46 - LÁMINA DE BOLAINA DE CALIDAD A. ....	82
FIGURA 47 - LÁMINA DE BOLAINA DE CALIDAD B. ....	82
FIGURA 48 - LÁMINA DE BOLAINA DE CALIDAD C. ....	82
FIGURA 49 - ESPESOR DE LOS PANELES ENCOLADOS CON UF. ....	84
FIGURA 50 - DENSIDAD APARENTE DE LOS PANELES ENCOLADOS CON UF .....	85
FIGURA 51 - CONTENIDO DE HUMEDAD DE LOS PANELES ENCOLADOS CON UF.....	85
FIGURA 52 - ESPESOR DE LOS PANELES ENCOLADOS CON FF. ....	86
FIGURA 53 - DENSIDAD APARENTE DE LOS PANELES ENCOLADOS CON FF. .....	87
FIGURA 54 - CONTENIDO DE HUMEDAD DE LOS PANELES ENCOLADOS CON FF. ....	87
FIGURA 55 - ABSORCIÓN DE AGUA DE LOS PANELES ENCOLADOS CON UF. .....	90
FIGURA 56 - HINCHAMIENTO DE LOS PANELES ENCOLADOS CON UF.....	91
FIGURA 57 - HINCHAMIENTO MAS RECUPERACIÓN EN ESPESOR DE LOS PANELES ENCOLADOS CON UF. ....	91
FIGURA 58 - ABSORCIÓN DE AGUA DE LOS PANELES ENCOLADOS CON FF. .....	92
FIGURA 59 - HINCHAMIENTO DE LOS PANELES ENCOLADOS CON FF.....	93
FIGURA 60 - HINCHAMIENTO MAS RECUPERACIÓN EN ESPESOR DE LOS PANELES ENCOLADOS CON FF. . ....	93
FIGURA 61 - RESISTENCIA DE LA LÍNEA DE COLA AL CIZALLAMIENTO DE LA PRUEBA EN SECO DE LOS PANELES ENCOLADOS CON UF ....	96
FIGURA 62 - RESISTENCIA DE LA LÍNEA DE COLA AL CIZALLAMIENTO DE LA PRUEBA 24 H INMERSIÓN EN AGUA DE LOS PANELES ENCOLADOS CON UF. ....	97
FIGURA 63 - MUESTRAS DE LA EVALUACIÓN DEL PORCENTAJE DE FALLA DE LA MADERA DE LOS PANELES ENCOLADOS CON UF. ....	98

FIGURA 64 - MÓDULO DE ELASTICIDAD EN SENTIDO PARALELO DE LOS PANELES ENCOLADOS CON UF.....	101
FIGURA 65 - MÓDULO DE RUPTURA EN SENTIDO PARALELO DE LOS PANELES ENCOLADOS CON UF. ....	101
FIGURA 66 - MÓDULO DE ELASTICIDAD EN SENTIDO PERPENDICULAR DE LOS PANELES ENCOLADOS CON UF.....	102
FIGURA 67 - MÓDULO DE RUPTURA EN SENTIDO PERPENDICULAR DE LOS PANELES ENCOLADOS CON UF. ....	102
FIGURA 68 - RESISTENCIA A LA LÍNEA DE COLAR AL CIZALLAMIENTO DE LA PRUEBA 24H INMERIÓN EN AGUA DE LOS PANELES ENCOLADOS CON FF. ....	105
FIGURA 69 - RESISTENCIA DE LA LÍNEA DE COLA AL CIZALLAMIENTO DE LA PRUEBA HERVOR 6H DE LOS PANELES ENCOLADOS CON FF .	105
FIGURA 70 - MUESTRAS DE LA EVALUACIÓN DEL PORCENTAJE DE FALLA DE LA MADERA, DE LOS PANELES ENCOLADOS CON FF . ....	106
FIGURA 71 - MÓDULO DE ELASTICIDAD EN SENTIDO PARALELO DE LOS PANELES ENCOLADOS CON FF .....	108
FIGURA 72 - MÓDULO DE RUPTURA EN SENTIDO PARALELO DE LOS PANELES ENCOLADOS CON FF .....	109
FIGURA 73 - MÓDULO DE ELASTICIDAD EN SENTIDO PERPENDICULAR DE LOS PANELES ENCOLADOS CON FF .....	109
FIGURA 74 - MÓDULO DE RUPTURA EN SENTIDO PERPENDICULAR DE LOS PANELES ENCOLADOS CON FF .....	110
FIGURA 75 - COMPACTACIÓN DE LOS PANELES ENCOLADOS CON UF ...	113
FIGURA 76 - COMPACTACIÓN DE LOS PANELES ENCOLADOS CON FF .....	11

## LISTA DE TABLAS

TABLA 1- PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS ANATÓMICAS MICROSCÓPICAS DE LA BOLAINA.....	28
TABLA 2 - BALANZA COMERCIAL DE PRODUCTOS FORESTALES EN EL PERÚ PARA EL PERIODO 2006-2015 .....	34
TABLA 3 - EXPORTACIÓN E IMPORTACIÓN DE PRODUCTOS MADERABLES EN PERÚ.....	35
TABLA 4 - PARÁMETROS PARA EL CALENTAMIENTO DE TROZAS EN FUNCIÓN A LA DENSIDAD DE LA MADERA.....	39
TABLA 5 - CONTENIDO DE HUMEDAD DE LAS LÁMINAS PARA EL ENCOLADO EN BASE AL TIPO DE RESINA.....	41
TABLA 6 - FORMULACIONES PARA LA MEZCLA UTILIZANDO RESINA ÚREA-FORMALDEHIDO.....	42
TABLA 7 - FORMULACIONES PARA LA MEZCLA UTILIZANDO RESINA FENOL-FORMALDEHIDO.....	42
TABLA 8 - CARACTERÍSTICAS DE LOCALIZACIÓN Y DENDROMÉTRICAS DE LOS ÁRBOLES Y TROZAS DE BOLAINA.....	53
TABLA 9 - FORMULACIONES UTILIZADAS PARA LAS RESINAS ÚREA-FORMALDEHÍDO Y FENOL FORMALDEHÍDO .....	62
TABLA 10- PROBETAS POR PANEL, PARA LOS ENSAYOS FÍSICOS Y MECÁNICOS.....	67
TABLA 11- REQUISITOS PARA LA TENSIÓN DE RUPTURA POR CIZALLAMIENTO Y FALLAS DE LA MADERA.....	71
TABLA 12- DISEÑO EXPERIMENTAL.....	72
TABLA 13- VALORES PROMEDIO DE LAS PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS ANATÓMICAS DE LA MADERA DE BOLAINA.....	73
TABLA 14- DENSIDAD BÁSICA MEDIA DE LAS MADERAS DE BOLAINA Y LUPUNA .....	75
TABLA 15- CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DE LAS MADERAS DE BOLAINA Y LUPUNA.....	76
TABLA 16 - RENDIMIENTO DE LAMINADO POR DESENLLO DE BOLAINA.....	77

TABLA 17 - VALORES MEDIOS DE ESPESOR, DENSIDAD Y CONTENIDO DE HUMEDAD DE LOS PANELES ENCOLADOS CON ÚREA FORMALDEHIDO (UF) Y FENOL FORMALDEHÍDO (FF). .....	83
TABLA 18 - RESULTADOS DE ESPESOR, DENSIDAD Y CONTENIDO DE HUMEDAD, DE LOS PANELES ENCOLADOS CON UREA FORMALDEHÍDO .....	84
TABLA 19 - RESULTADOS MÉDIOS DE ESPESOR, DENSIDAD Y CONTENIDO DE HUMEDAD DE LOS PANELES ENCOLADOS CON FENOL FORMALDEHÍDO .....	86
TABLA 20 - VALORES MEDIOS DE ABSORCIÓN DE AGUA, HINCHAMIENTO E HINCHAMIENTO MAS RECUPERACIÓN EN ESPESOR DE LOS PANELES ENCOLADOS CON UF Y FF. ....	89
TABLA 21 - VALORES MEDIOS DE ABSORCIÓN DE AGUA, HINCHAMIENTO E HINCHAMIENTO MAS RECUPERACIÓN EN ESPESOR DE LOS PANELES ENCOLADOS CON ÚREA FORMALDEHÍDO. ....	90
TABLA 22 - VALORES MEDIOS DE ABSORCIÓN DE AGUA, HINCHAMIENTO E HINCHAMIENTO MAS RECUPERACIÓN EN ESPESOR DE LOS PANELES ENCOLADOS CON FENOL FORMALDEHÍDO. ....	92
TABLA 23 - VALORES MEDIOS DE RESISTENCIA DE LA LÍNEA DE COLA AL CIZALLAMIENTO Y FALLA DE LA MADERA .....	95
TABLA 24 - RESISTENCIA DE LA LÍNEA DE COLA AL CIZALLAMIENTO, PARA LOS PANELES ENCOLADOS CON ÚREA-FORMALDEHÍDO .....	96
TABLA 25 - MÓDULO DE ELASTICIDAD Y MÓDULO DE RUPTURA EN FLEXIÓN ESTÁTICA EN SENTIDO PARALELO Y PERPENDICULAR DE LOS PANELES ENCOLADOS CON UF Y FF .....	100
TABLA 26 - RESULTADOS MEDIOS DE FLEXIÓN ESTÁTICA PARA LOS PANELES ENCOLADOS CON UREA-FORMALDEHÍDO . ....	100
TABLA 27 - RESISTENCIA DE LA LÍNEA DE COLA AL CIZALLAMIENTO, PARA LOS PANELES ENCOLADOS CON FENOL-FORMALDEHÍDO .....	104
TABLA 28 - RESULTADOS MEDIOS DE FLEXIÓN ESTÁTICA, PARA LOS PANELES ENCOLADOS CON FENOL-FORMALDEHÍDO . ....	108
TABLA 29 - VALORES MEDIOS DE COMPACTACIÓN DE LOS PANELES ENCOLADOS CON ÚREA FORMALDEHÍDO (UF) Y FENOL FORMALDEHÍDO (FF) . ....	112

TABLA 30 - COMPACTACIÓN DE LOS PANELES ELABORADOS CON UREA-FORMALDEHÍDO.....	112
TABLA 31 - COMPACTACIÓN DE LOS PANELES ELABORADOS CON FENOL-FORMALDEHÍDO .....	114

## LISTA DE SIGLAS

- ABIMCI - Associação Brasileira da Indústria da Madeira Processada Mecanicamente
- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas
- EN - *Norma Europeia*
- FAO - Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
- IAWA - *International Association of Wood Anatomists*
- ICRAF - *International Centre for Research in Agroforestry*
- IIAP - Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana
- INACAL - Instituto Nacional de la Calidad
- ITTO - *International Tropical Timber Organization*
- MINAM - Ministerio del Ambiente
- NTP - Norma Técnica Peruana
- OIT - Organización Internacional del Trabajo
- PBI - Producto Bruto Interno
- PNQM - Programa Nacional da Qualidade da Madeira
- PNUD - Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo
- SERFOR- Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre
- TAPPI - *Technical Association of the Pulp and Paper Industria*
- UNALM - Universidad Nacional Agraria La Molina

## LISTA DE ABREVIATURAS

ANOVA - Análisis de variancia

CIF - *Cost Insurance and Freight*

cPs - *Centipoise*

DOI - *Digital Object Identifier*

et al. - y otros

FOB - *Free on Board*

h - hora

MOE - Módulo de Elasticidad

MOR - Módulo de Ruptura

MPa - Mega Pascal

OSB - *Oriented Strand Board*

Ph - Potencial de hidrógeno

Psf - Punto de saturación de las fibras

p - página

Rev - Revista

v - volumen

µm - micra

mm - milímetro

cm - centímetro

m - metro

BOL - bolaina

LUP - lupuna

## ÍNDICE

<b>1</b>	<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>23</b>
1.1	OBJETIVOS .....	255
1.1.1	Objetivo general .....	255
1.1.2	Objetivos específicos .....	255
<b>2</b>	<b>REVISIÓN DE LITERATURA</b> .....	<b>26</b>
2.1	DESCRIPCIÓN DE LAS ESPECIES .....	266
2.1.1	Bolaina ( <i>Guazuma crinita</i> Mart.) .....	26
2.1.2	Lupuna ( <i>Ceiba pentandra</i> (L.) Gaertn.) .....	30
2.2	SITUACIÓN DE LA INDUSTRIA FORESTAL EN EL PERÚ .....	333
2.3	CALIDAD DE LA MADERA PARA LA FABRICACIÓN DE PANELES COMPENSADOS .....	366
2.4	PROCESO DE FABRICACIÓN DE PANELES COMPENSADOS .....	38
2.4.1	Calentamiento de la madera .....	39
2.4.2	Laminado .....	40
2.4.3	Secado de láminas .....	40
2.4.4	Preparación de la batida del adhesivo y aplicación.....	41
2.4.5	Ensamblado del panel y prensado.....	44
2.4.6	Antecedentes de trabajos de investigación sobre paneles compensados	466
<b>3</b>	<b>METODOLOGÍA</b> .....	<b>51</b>
3.1	MATERIAL.....	51
3.2	MÉTODOS .....	54
3.2.1	Evaluación de las características anatómicas de la madera .....	54

3.2.2	Determinación de las características físicas de la madera.....	54
3.2.3	Determinación de las características químicas de la madera .....	54
3.2.4	Determinación de la conicidad de las trozas.....	54
3.2.5	Laminado .....	55
3.2.6	Secado de láminas.....	57
3.2.7	Clasificación de láminas .....	58
3.2.8	Rendimiento de laminado .....	58
3.2.9	Preparación de la batida de cola en base a las formulaciones propuestas .....	61
3.2.10	Ensamblado, encolado y prensado de los paneles .....	62
3.2.11	Compactación de los paneles .....	66
3.2.12	Preparación de las probetas para los ensayos físicos y mecánicos de los paneles .....	66
3.3	Ensayos físicos y mecánicos.....	68
3.3.1	Absorción de agua.....	69
3.3.2	Hinchamiento más recuperación en espesor.....	69
3.3.3	Resistencia de la línea de cola al cizallamiento .....	69
3.3.4	Flexión estática .....	71
3.4	Diseño experimental.....	72
<b>4</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>73</b>
4.1	CARACTERÍSTICAS ANATÓMICAS DE LA MADERA .....	73
4.2	DENSIDAD BÁSICA DE LA MADERA.....	75
4.3	CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DE LA MADERA.....	75
4.4	RENDIMIENTO DE LAMINADO .....	77

4.5	CLASIFICACIÓN DE LÁMINAS.....	81
4.6	PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS PANELES .....	83
4.6.1	Espesor, densidad aparente y contenido de humedad de los paneles encolados con úrea - formaldehído (UF) .....	83
4.6.2	Absorción, hinchamiento e hinchamiento más recuperación en espesor de los paneles encolados con úrea-formaldehído (UF) y fenol-formaldehído (FF).	89
4.7	PROPIEDADES MECÁNICAS .....	95
4.7.1	Resistencia de la línea de cola al cizallamiento, en los paneles encolados con úrea-formaldehído .....	95
4.7.2	Flexión estática paralela y perpendicular de los paneles encolados con úrea-formaldehído.....	99
4.7.3	Resistencia al cizallamiento de la línea de cola de los paneles encolados con fenol-formaldehído.....	104
4.7.4	Flexión estática paralela y perpendicular de los paneles encolados con fenol-formaldehído .....	107
4.7.5	Compactación de los paneles encolados con úrea-formaldehído y fenol-formaldehído .....	111
<b>5</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>1166</b>
	<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>118</b>

## 1 INTRODUCCIÓN

El Perú posee 18 millones de hectáreas de bosques de producción permanente, con 4 422 especies forestales de las cuales aproximadamente 600 han sido debidamente identificadas y sólo se aprovechan 195 industrialmente SERVICIO NACIONAL FORESTAL Y DE FAUNA SILVESTRE (SERFOR, 2014); (SERFOR, 2015); (CÉSPEDES, 2015).

Los paneles compensados, en el Perú se producen de maderas tropicales de especies de la Amazonía, tales como lupuna (*Ceiba pentandra*), Capinuri (*Maquira coriaceae* (Karsten) C.C. Berg) pashaco (*Schizolobium amazonicum* Huber ex. Ducke), copaiba (*Copaifera paupera*), cumala (*Virola* spp), catahua (*Hura crepitans*), siendo las más utilizadas lupuna y capinuri, concentrando el 80% de la materia prima utilizada por esta industria. Sin embargo, el impacto ambiental debido a la explotación selectiva de la madera tropical ha generado restricciones en su demanda por parte del mercado internacional y muchos países han comenzado a exigir certificados de gestión forestal sostenible. A falta de una política de promoción de las plantaciones forestales en el Perú, los empresarios del sector forestal han comenzado a invertir en plantaciones forestales con especies nativas de la región, lo que permitiría iniciar un proceso de ejercer menos presión, sobre los bosques naturales, en el aprovisionamiento de materia prima madera para los procesos de transformación.

La especie *Guazuma crinita* Mart. conocida como bolaina, “ha demostrado ser una excelente alternativa para instalación de plantaciones forestales con especies nativas, por su buen comportamiento silvicultural, rápido crecimiento con un período de cosecha de aproximadamente 7 años, capacidad de manejo de rebrotes hasta 3 oportunidades, además de producir madera con características tecnológicas favorables, color claro con ausencia de resinas para la producción de diferentes productos maderables” (FLORES, 2018). Así mismo, se ha determinado que el establecimiento de bolaina en plantaciones puras puede producir hasta 224 m<sup>3</sup>/ha al octavo año, lo que equivale a una tasa de crecimiento de 28 m<sup>3</sup>/ha/año, un de las más altas registradas en la Amazonía en plantaciones con especies nativas, estimándose que actualmente se tienen establecidas 10 000 ha de plantaciones con bolaina en

terrenos de propiedad privada que tienen entre cinco y nueve años , aproximadamente (INSTITUTO DE INVESTIGACIONES DE LA AMAZONÍA PERUANA (IIAP, 2009).

Por otro lado, la producción de madera rolliza de bolaina, para el año 2016 fue de 36 465 m<sup>3</sup>, que representa el 2,52% de la producción nacional, volumen que se incrementó en 3,42% en el año 2017 (SERFOR, 2018) y (SERFOR, 2019).

En la producción de paneles compensados, los factores relacionados con la tecnología deben ser evaluados con mucha atención, principalmente el proceso fisicoquímico de la adhesión, en el encolado de láminas de madera (MARRA, 1992). El tipo de resina empleada en el encolado debe ser adecuada al medio de utilización del panel, pudiendo ser urea-formaldehído para ambiente interno y fenol-formaldehído para ambiente externo. La formulación de una batida de cola y el gramaje son parámetros que influirán directamente en la calidad del encolado y al mismo tiempo en el costo de producción del panel (BALDWIN,1981 y SELLERS,1993).

La densidad básica de la madera es una propiedad física de mucha importancia para la fabricación de paneles de madera fundamentalmente en la etapa del encolado, considerando que existe una relación inversa entre la densidad de la madera con la porosidad y la acción de penetración de los adhesivos en la estructura leñosa, tal es así que, en maderas de baja densidad hay una mayor penetración del adhesivo y que podría ocasionar una línea de cola débil (IWAKIRI ,2005). Por lo que se recomienda que densidad básica, de las especies que van a hacer laminadas, estén entre 0,38 a 0,70 g/cm<sup>3</sup> y de preferencia con valores próximos a 0,50 g/cm<sup>3</sup> (ALMEIDA, BORTOLETO, y JANKOWSKY, 2004).

Sobre las características químicas de la madera, que influyen en la producción de paneles compensados, los extractivos y pH de la madera, son considerados los de mayor importancia, debido a que pueden interferir en la cura del adhesivo durante el proceso de prensado del panel en la prensa caliente, considerando que algunos extractivos presentes en las láminas pueden obstaculizar el proceso de vaporización y su migración de una línea de cola a la otra, y de esta para los bordes del panel y su posterior liberación hacia el ambiente externo, este proceso, al ser muy lento, tendrá como consecuencia el aumento de la presión interna de vapor, lo que provocará la “explosión” en el momento de abrir la prensa ocasionando la delaminación del panel (BALDWIN, 1995). El contenido de extractivos presentes en la madera varían de 1 a 10% los cuales influyen en la formación y rendimiento de la unión adhesiva,

relacionada principalmente a la mayor o menor exposición de áreas de concentración de extractivos en la superficie de la madera a ser encolada debido a la migración de los extractivos de las capas internas a las capas superficiales durante el proceso de secado de las láminas y el pH de la madera varían de 3 a 6 siendo importante debido a que puede inhibir las reacciones químicas de polimerización del adhesivo dependiendo si para la polimerización del adhesivo se necesita un medio ácido o alcalino, perjudicando la resistencia de adhesión de las líneas de cola (IWAKIRI, 2005).

Por consiguiente, con el objetivo de incrementar las especies con potencial para la industria de paneles compensados procedente de plantaciones forestales, en el trabajo de investigación se plantea evaluar la viabilidad de la de la especie *Guazuma crinita* Mart. en la producción de paneles compensados para uso interno y externo.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo general

Evaluar la viabilidad de la madera de bolaina (*Guazuma crinita* Mart.) en la producción de paneles compensados para uso interior y exterior, incluyendo a lupuna (*Ceiba pentandra* (L.) Gaertn), como especie referencial considerando que el 85% de paneles compensados producidos en la región amazónica de Perú se producen con esta especie procedente de bosque nativo.

### 1.1.2 Objetivos específicos

- Evaluar las características anatómicas, físicas y químicas de la madera bolaina (*Guazuma crinita* Mart.), proveniente de plantaciones, en la producción de paneles compensados.
- Determinar el rendimiento de laminado por desenrollo de las trozas de *Guazuma crinita* Mart.
- Evaluar la calidad de los paneles compensados producidos con bolaina y lupuna, utilizando urea-formaldehído y fenol-formaldehído con dos formulaciones para cada adhesivo, en base a los requisitos exigidos por las normas técnicas correspondientes.

## 2 REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1 DESCRIPCIÓN DE LAS ESPECIES

#### 2.1.1 Bolaina (*Guazuma crinita* Mart.)

De acuerdo con lo descrito por Encarnación 1983, Reynel et al. 2003, Dávila et al. 2008 citados por Flores (2018), la bolaina es un árbol de hasta 35 m de altura y 60 cm de diámetro, tronco cilíndrico, corteza de color gris o negruzco, agrietada y fisurada. Estípulas pequeñas y caducas, hojas simples, alternas, dísticas, láminas ovaladas frecuentemente asimétricas, 10 -18 cm de largo por 5-7 cm de ancho, borde aserrado, ápice agudo y acuminado, base truncada y palminervada, haz y envés pubescente. Flores pequeñas, 8-12 de longitud, rosadas. Fruto globoso de 5-6 mm de diámetro, capsular dehiscente, cubierto de pelos largos de 2-4 cm de longitud. Semillas pequeñas cuyas dimensiones son de 1 mm de diámetro y 1 mm de altura. Posee entre 10-20 semillas por fruto y aproximadamente 860 000 por kg (FIGURA 1).

La bolaina como bolaina blanca y tiene como sinónimo botánico, según Reynel (2003) *Guazuma rosea* Poeppig, y es una especie que pertenece a la familia Sterculiaceae y se encuentra naturalmente según Encarnación 1983, Bracko & Zarucchi 1993, citados por Flores (2018), distribuídas en el continente americano, desde Centroamérica hasta la región amazónica y Perú y Brasil. En el Perú crece en los departamentos de Amazonas, Cajamarca, Huánuco, Junín, Lambayeque, Loreto, San Martín y Ucayali; y en la Costa Norte. Esta especie puede ser encontrada en forma abundante en bosques secundarios o “purmas”, aledañas a las carreteras y caminos, así como formando rodales casi puros en las márgenes de los grandes ríos como el Aguaytía, Pachitea, Ucayali y también en pequeños ríos y quebradas.

La bolaina blanca es una especie que desarrolla muy bien en grandes espacios abiertos por ser una especie heliófita, es decir de altos requerimientos de luz solar, principales características de esta especie que la hacen deseable para plantaciones son, su rápido crecimiento, su copa rala, su capacidad de rebrotar, hasta tres veces, el color claro de su madera, la ausencia de resinas en la madera y su notable capacidad de regeneración (INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIÓN AGRARIA (INIA, 1996); INTERNATIONAL TROPICAL TIMBER ORGANIZATION (ITTO, 1996).

FIGURA 1 - ÁRBOL DE BOLAINA (*Guazuma crinita* Mart.).

FUENTE: El Autor (2017).

El establecimiento de bolaina en plantaciones puras según el Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana (IIAP, 2009), puede producir hasta 224 m<sup>3</sup>/ha al octavo año, lo que equivale a una tasa de crecimiento de 28 m<sup>3</sup>/ha/año, una de las más altas registradas en la Amazonía, en plantaciones con especies nativas.

Según Wightman et al (2006), la madera de bolaina puede tener diversas tonalidades que dependen de la edad del árbol y de la exposición a la luz que se ha dado a la madera presentando un color generalmente crema, es una madera liviana con una masa específica básica de 0,32 g/cm<sup>3</sup> Baltazar (2012) y según Miguel (2013) de 0,42 g/cm<sup>3</sup>. Respecto a las principales características anatómicas microscópicas y físicas de la bolaina procedente de bosque natural en la (TABLA 1) se muestran los resultados de los estudios realizados por Acevedo y Kikata (1994) y Miguel (2013).

TABLA 1 - PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS ANATÓMICAS MICROSCÓPICAS DE LA BOLAINA

CARACTERÍSTICAS	ACEVEDO KIKATA	MIGUEL
Diámetro tangencial de poros ( $\mu\text{m}$ )	167 a 161	133
N°. poros/ $\text{mm}^2$	2 a 7	5,5
Altura promedio de radios ( $\mu\text{m}$ )	638 - 680	723,2
Longitud promedio de fibras ( $\mu\text{m}$ )	484 - 830	1038,5
Diámetro promedio de fibras ( $\mu\text{m}$ )	18	24,5
Espesor pared de fibras ( $\mu\text{m}$ )	3	1,88

FUENTE: (ACEVEDO y KIKATA,1994), (MIGUEL, 2013).

Acevedo y Kikata (1994) manifiestan que la madera de bolaina blanca en condición seca al aire no muestra diferencia entre la albura y duramen, siendo su madera de color blanco cremoso y con una masa específica básica de  $0,41 \text{ g/cm}^3$ . Presenta anillos de crecimiento, diferenciado por bandas oscuras de forma regular con veteado en arcos superpuestos ligeramente definidos y jaspeados, grano recto, textura y brillo medio. La madera muestra porosidad difusa. Parénquima ligeramente visible apotraqueal difuso en agregado y paratraqueal vasicéntrico, no estratificadas con presencia de células cristalíferas septadas. Radios heterogéneos tipo III, multiseriado no estratificado, con inclusiones de gomas en células procumbentes y tipo baldosas. Las fibras son libriformes, no estratificadas.

Respecto a los usos de la madera de bolaina, desde hace muchos años se viene utilizando en la fabricación de pequeños artículos de madera básicamente paletas para helados, paletas médicas y mondadientes (FIGURAS 2, 3, 4 Y 5). Al respecto, el IIAP (2009) reafirma que la madera de bolaina ha sido introducida con gran éxito en el mercado regional y nacional elaborando productos de valor agregado estandarizados para usos finales tales como madera machihembrada para revestimiento de viviendas de madera, envases y embalajes para la agroexportación, tableros enlistonados para la fabricación de puertas, entre otros.

FIGURA 2 - TROZA DE BOLAINA (*Guazuma crinita* Mart.) CARGADA EN EL TORNO DESEENROLLADOR



FUENTE: El Autor (2019).

FIGURA 3 - LAMINADO DE BOLAINA POR DESEENROLLO



FUENTE: El Autor (2019).

FIGURA 4 - LÁMINAS DE BOLAINA PREVIO AL TROQUELADO



FUENTE: El Autor (2019).

FIGURA 5 – LÁMINAS DE BOLAINA TROQUELADAS PARA PALITOS DE HELADOS



FUENTE: El Autor (2019).

### 2.1.2 Lupuna (*Ceiba pentandra* (L.) Gaertn).

La *Ceiba pentandra* (L.) Gaertn, también es conocida con los nombres comunes de “lupuna blanca”, “lupuna”, “huimba” *Cecropia sp.* y como sinónimos botánicos *Bombax pentandrum* L. Reynel (2003) y de acuerdo con Flores (2018) como, *Bombax guineense* Tho., *Bombax occidentale* Spreng., *Ceiba anfractuosa* (DC.) Maza, *Ceiba caribaea* (DC.) A. Chev y *Ceiba casearia* Medik.

Según Flores (2018), es un árbol de grandes dimensiones, puede alcanzar alturas de más de 60 m y diámetros hasta de 2,4 m. Copa aparasolada y muy amplia. Fuste con aletas y base ensanchada. Corteza externa gris a verde con agujones. Corteza interna suave y fibrosa. Raíces superficiales y con refuerzos basales del tronco (FIGURA 6). Presencia de estípulas terminales. Hojas dispuestas en espiral, palmadas (compuesto-digitadas), 7-11 foliolos; foliolos alargado-elípticos, ápice agudo-acuminado, base aguda, 5-16 cm de largo por 1,5-2 cm de ancho, nervaduras secundarias poco notorias. Ramitas con agujones. Flores dispuestas en inflorescencia faciculares, cremosas, blancuzcas o rosadas. Capsulas verdosas, elípticas, dehiscentes, llenas de lana (“kapok”) que contienen numerosas semillas.

Semillas redondeadas con cotiledones muy plegados y retorcidos. La cubierta seminal presenta estomas. Contiene reservas oleaginosas (hasta 25% de su peso), el cual se utiliza, entre otras cosas, como combustible para lámparas y para la fabricación de jabón. Sus dimensiones varían de 5 a 6 mm de largo y de 4 a 5 mm de altura. Posee entre 120 – 175 semillas por fruto y entre 10 000 a 20 000 semillas/kg.

FIGURA 6 - LUPUNA BLANCA (*Ceiba pentandra* (L.) Gaertn)



FUENTE: The World's Best Photos of lupuna and Peru-Flickr Hive Mind (2012).

Respecto a su distribución, Reynel (2003) menciona que, ésta especie se encuentra en Bosques húmedos Neotropicales desde Centroamérica hasta el Sudeste de Brasil y Bolivia, generalmente crece a una altitud por debajo de 1 500 m sobre el nivel del mar. Al respecto Flores (2018) indica que en el Perú crece en los departamentos de Amazonas, Huánuco, Loreto, Madre de Dios, Pasco, Puno y Ucayali; así mismo menciona que es una de las especies más sobreexplotadas y depredadas de nuestra Amazonia.

La madera de la lupuna tiene una masa específica básica de  $0,28 \text{ g/cm}^3$  clasificada como una madera de muy baja densidad (AROSTEGUI, 1982). Al respecto, Acevedo y Kikata (1994) mencionan que, en condición seca al aire, no hay diferencia entre albura y duramen, son de color crema, grano recto, textura media; masa específica básica de  $0,26 \text{ g/cm}^3$  y susceptible al ataque de hongos e insectos. En

relación a sus características anatómicas, los mismos autores indican, que es una madera de porosidad difusa; poros visibles con lupa 10x, solitarios, múltiples radiales de forma oval; con 1 a 5 poros/mm<sup>2</sup>; presencia de tálides, parénquima visible con lupa 10x, con 1 a 5/mm, no estratificados; parénquima terminal y apotraqueal difuso, estratificadas, presencia de gomas y sílice; el diámetro tangencial de vasos varía de 235 a 248  $\mu\text{m}$  y la longitud entre 426 y 436  $\mu\text{m}$ ; radios heterogéneos tipo III, multiseriados no estratificados, altura entre 1052 y 1344  $\mu\text{m}$  presencia de células envolventes, cristales de forma romboide y gomas; fibras libriformes, estratificadas, diámetro total 36  $\mu\text{m}$ , el grosor de pared celular 4  $\mu\text{m}$  y la longitud varía entre 2034 y 2123  $\mu\text{m}$ . Al respecto, Vergara (1992) resalta la presencia de carbonatos de calcio, de forma romboide en células de parénquima longitudinal y radial, así como abundantes gomas en parénquima longitudinal y radial.

Respecto a los usos de la madera de lupuna, FIGURAS 7 y 8, hasta la actualidad es la materia prima principal para la producción de paneles compensados por las empresas localizadas en la región amazónica del Perú (REYNEL, 2003).

FIGURA 7 - TROZAS DE LUPUNA BLANCA (*Ceiba pentandra* (L.) Gaertn), PARA SER DESEENROLLADAS



FUENTE: El autor (2014).

FIGURA 8 - DESEÑOLLO DE LUPUNA BLANCA (*Ceiba pentandra* (L.) Gaertn)

FUENTE: Base de datos del autor (2014).

## 2.2 SITUACIÓN DE LA INDUSTRIA FORESTAL EN EL PERÚ.

El Perú posee 72 millones de hectáreas de bosques naturales (56.09% del territorio nacional), de los cuales 68 millones de hectáreas son bosques húmedos de la región Selva o Amazónica (53.06%), aproximadamente tres millones y medio son bosques de estaciones secas de la región Costa (2.86%) y dos millones de hectáreas son bosques de la región (0.17%), lo cual lo ubica en el segundo lugar de extensión de bosques naturales a nivel de Sudamérica y en el noveno lugar a nivel mundial MINISTERIO DEL AMBIENTE (MINAM, 2015) y ORGANIZACIÓN INTERNACIONAL DEL TRABAJO (OIT, 2016).

A nivel regional, según datos reportados para el 2014, Loreto es la región que tiene la mayor superficie de bosques húmedos amazónicos con 25 222 116 ha, seguido de Ucayali con 9 479 045 ha y Madre de Dios con 8 002 550 ha (MINAM, 2015).

A pesar de que los bosques naturales ocupan una extensión importante del territorio nacional, su aprovechamiento registra una participación marginal en la producción nacional (0.5% del PBI) y las exportaciones peruanas corresponden a

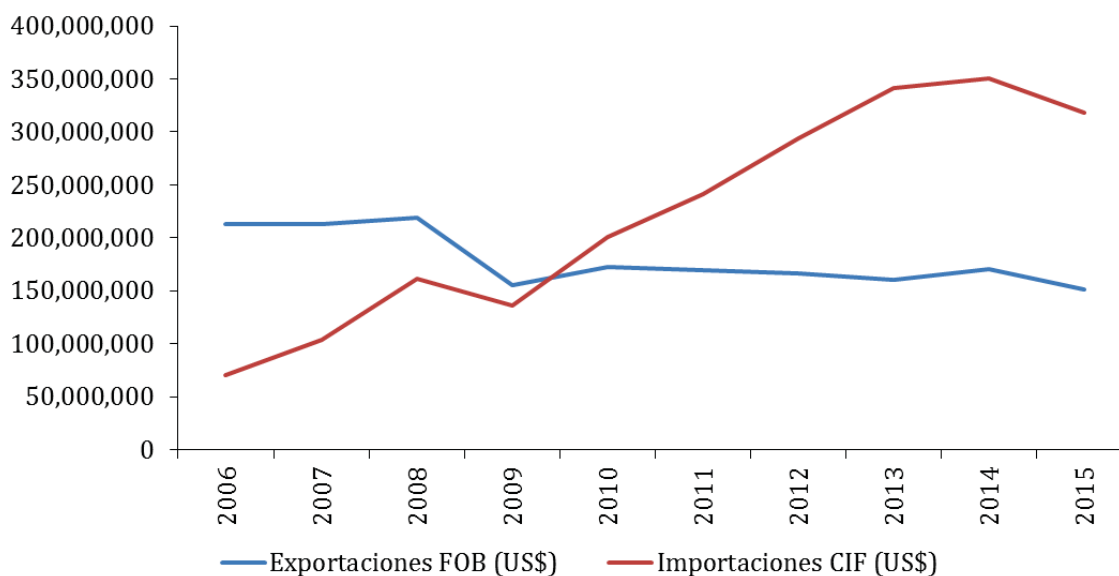
menos del 1 % de la exportación mundial de productos forestales (Ibérico, 2014). Además, la balanza comercial de productos forestales es deficitaria (TABLA 2 y FIGURA 9) la proyección para el año 2021 se estima en -US\$ 2 511 millones (SERFOR, 2016).

TABLA 2 - BALANZA COMERCIAL DE PRODUCTOS FORESTALES EN PERÚ PARA EL PERIODO 2006-2015

AÑO	EXPORTACIONES VALOR FOB (US\$)	VARIACIÓN PORCENTUAL (%)	IMPORTACIONES VALOR CIF (US\$)	VARIACIÓN PORCENTUAL (%)
2006	212 755 187	26,40	69 986 823	17,48
2007	212 854 824	0,05	103 371 566	47,70
2008	219 239 881	3,00	161 700 165	56,43
2009	154 857 347	-29,37	136 343 975	-15,68
2010	172 147 865	11,17	201 306 216	47,65
2011	169 175 315	-1,73	241 143 610	19,79
2012	166 270 019	-1,72	293 456 209	21,69
2013	160 235 274	-3,63	341 289 617	16,30
2014	170 976 764	6,70	350 085 748	2,58
2015	151 744 967	-11,25	317 750 899	-9,24

FUENTE: (SERFOR, 2016).

FIGURA 9 - EVOLUCIÓN DE LA BALANZA COMERCIAL DEL SECTOR FORESTAL (2006-2015)



FUENTE: (SERFOR, 2016).

En la TABLA 3, se observa que, para los paneles compensados, existe un déficit de US\$ -9 775 250 entre las exportaciones US\$ 1 753 335 e importaciones US\$ 2 0528 584, equivalentes a un volumen de 34 834 m<sup>3</sup> de paneles compensados.

TABLA 3 – EXPORTACIÓN E IMPORTACIÓN DE PRODUCTOS MADERABLES  
FUENTE: SERFOR (2016)

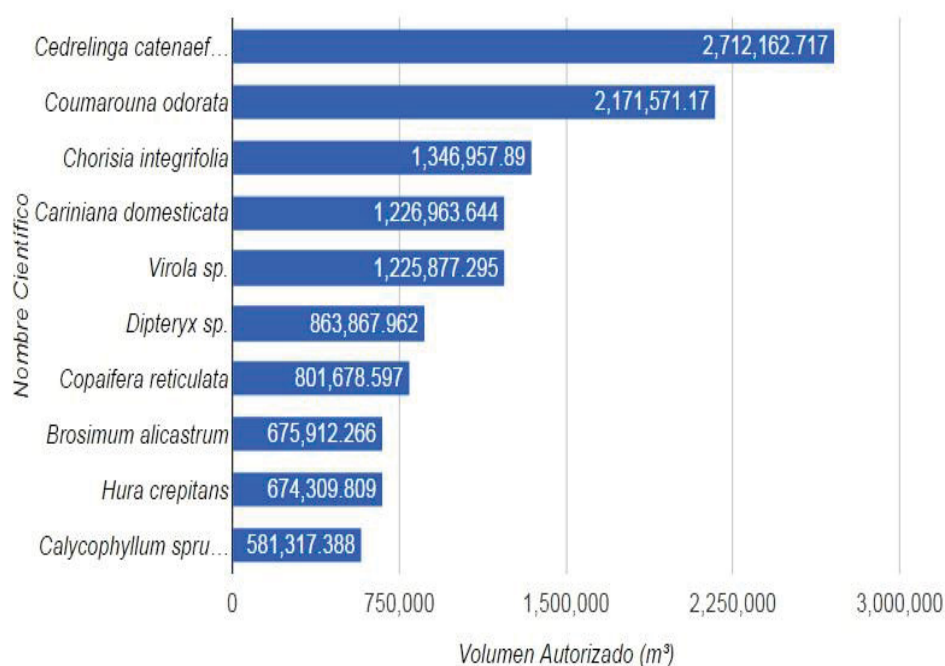
PRODUCTOS	EXPORTACIÓN (US\$)	IMPORTACIÓN (US\$)	DIFERENCIA (US\$)
TABLEROS	1 241 552	120 245 663	-119 004 111
PANELES COMPENSADOS	1 753 335	11 528 585	-9 775 250
MUEBLES	6 042 369	99 636 643	-93 594 274
MADERA MANUFACTURADA	6 568 280	27 143 864	-20 575 584
PASTA DE MADERA	-	61 302 663	-61 302 663
PAPEL Y CARTÓN	63 757 561	680 947 893	-617 190 331

FUENTE: (SERFOR, 2016).

De acuerdo con cifras oficiales el Perú posee 18 millones de hectáreas de bosques de producción permanente, con 4 422 especies forestales de las cuales aproximadamente 600 han sido debidamente identificadas y sólo se aprovechan 195 industrialmente (SERFOR, 2014), (SERFOR, 2015) y (CÉSPEDES, 2015).

La madera aserrada, los paneles compensados y el carbón vegetal, son los tres principales productos que concentran entre el 90% y 95% del aprovechamiento de la materia prima procedente de los bosques naturales para la producción de productos maderables de transformación mecánica o química de primera o segunda transformación. En la FIGURA 10, se muestran la diez principales especies aprobadas para su extracción, provenientes de concesiones forestales maderables y de permisos en tierras de Comunidades Nativas del país (SERFOR, 2016).

FIGURA 10 - PRINCIPALES ESPECIES FORESTALES CON EXTRACCIÓN AUTORIZADA (m<sup>3</sup>) ENTRE LOS AÑOS 2010 AL 2016 PARA TODAS LAS REGIONES DE PERÚ



FUENTE: (SERFOR, 2016).

NOTAS: *Chorisia integrifolia* es sinónimo de *Ceiba pentandra* (L) Gaertn; VERGARA, J. (1992)

### 2.3 CALIDAD DE LA MADERA PARA LA FABRICACIÓN DE PANELES COMPENSADOS.

La calidad de la madera es el conjunto de características y propiedades que permiten orientar al usuario en la utilización como materia prima para obtener productos de transformación mecánica o química, no obstante estas características relacionadas con sus propiedades anatómicas, físicas y químicas tienen que estar respaldadas por el estado o calidad de la troza, la cual depende de la presencia o ausencia de defectos como, grietas y rajaduras, nudos, madera tensionada, huecos, acebolladuras y ataque de hongos e insectos, que afectan directamente el rendimiento de la materia prima en su procesamiento industrial (LUTZ, 1978).

La calidad de la troza, factor de conicidad, diámetro del fuste y el calentamiento de la madera, son factores primordiales para la obtención de láminas de mejor calidad y mayor rendimiento de laminado (BALDWIN, 1981; SELLERS JR, 1985; y BONDUELE et al., 2006). Al respecto Frech (1977) menciona que el rendimiento de la troza que es transformada a láminas para los paneles compensados es de aproximadamente 50%, el resto son residuos compuestos por corteza,

despuntos de los extremos de las trozas, láminas por redondeo y por recorte de los extremos de la faja de lámina, residuos producidos en el dimensionamiento de chapas secas, escuadrado y lijado de los paneles. Bednarczuk (2016), al comparar la calidad de las láminas de *Hovenia dulcis* con las de *Pinus elliottii*, encontró que las láminas de Pinus en su mayoría se clasificaron en la clase IV, debido a la gran cantidad de nudos, y destacó la superioridad de *Hovenia dulcis*, debido a su característica de podarse naturalmente.

Según Iwakiri (2005), la influencia de la anatomía de la madera relacionada principalmente, con las dimensiones de los elementos celulares; dimensiones, disposición y frecuencia de las cavidades celulares que definen la porosidad y permeabilidad de la madera, propiedades de mucha importancia el proceso de encolado por controlar el movimiento del adhesivo dentro de la estructura de la madera, para permitir un anclaje adecuado y un ecolado óptimo.

Las propiedades físicas de la madera, masa específica básica, contenido de humedad, color y veteado son consideradas como las más importantes para la producción de láminas (LUTZ,1978).

La densidad básica de la madera es una propiedad física de mucha importancia para la fabricación de paneles de madera fundamentalmente en la etapa del encolado, considerando que existe una relación inversa entre la densidad de la madera con la porosidad y la acción de penetración de los adhesivos en la estructura leñosa; en maderas de baja densidad hay una mayor penetración del adhesivo que podría ocasionar una línea de cola débil (IWAKIRI, 2005). Por lo que se recomienda que densidad básica, de las especies que van a hacer laminadas para producir paneles compensados, estén entre 0,38 a 0,70 g/cm<sup>3</sup> y de preferencia con valores próximos a 0,50 g/cm<sup>3</sup> (ALMEIDA, BORTOLETO, y JANKOWSKY, 2004).

Sobre las características químicas de la madera, que influyen en la producción de paneles compensados, los extractivos y pH de la madera, son considerados los de mayor importancia, debido a que pueden interferir en la cura del adhesivo durante el proceso de prensado en caliente del panel, debido a que algunos extractivos presentes en las láminas pueden obstaculizar el proceso de vaporización y su migración de una línea de cola a la otra, y de esta para los bordes del panel y su posterior liberación hacia el ambiente externo, este proceso, al ser muy lento, tendrá como consecuencia el aumento de la presión interna de vapor, lo que podría provocar una “explosión” en el momento de abrir la prensa ocasionando la delaminación del

panel (BALDWIN, 1995). El contenido de extractivos presentes en la madera varían de 1 a 10% los cuales influyen en la formación y rendimiento de la unión adhesiva, relacionada principalmente a la mayor o menor exposición de áreas de concentración de extractivos en la superficie de la madera a ser encolada debido a la migración de los extractivos de las capas internas a las capas superficiales durante el proceso de secado de las láminas y el pH de la madera varían de 3 a 6 siendo importante debido a que puede inhibir las reacciones químicas de polimerización del adhesivo dependiendo si para la polimerización del adhesivo se necesita un medio ácido o alcalino, perjudicando la resistencia de adhesión de las líneas de cola (IWAKIRI, 2005). El contenido de extractivos totales puede variar de 1,00 a 7,54% (BUENO, 1990). En la investigación sobre la utilización de la madera de bolaina (*Guazuma crinita* Mart.), para la fabricación de tableros de partículas se determinó un promedio de extractivos totales de 1,80% y un pH de 6,76 en la caracterización química de la madera de cuatro años de edad (MIGUEL et al., 2019).

Respecto al contenido de humedad de la madera es importantante en el proceso de laminado, secado y encolado de las láminas para la producción de los paneles compensados. Para el proceso del laminado es deseable que el contenido de humedad de la madera se encuentre por encima del punto de saturación de las fibras (Psf), en el secado el contenido de humedad está en función del tipo de resina a utilizar en el encolado influyendo directamente en la calidad de encolado (LUTZ ,1978).

## 2.4 PROCESO DE FABRICACIÓN DE PANELES COMPENSADOS

La calidad de paneles compensados depende de varios factores relacionados, a la materia prima, tecnología de fabricación, recursos humanos, entre otros; sin embargo, Marra (1992), menciona que los factores relacionados con la tecnología deben ser evaluados con mucha atención, principalmente el proceso fisicoquímico que ocurre en el encolado de las láminas de madera. El tipo de resina empleada en el encolado debe ser adecuada al medio de utilización del panel, pudiendo ser úrea-formaldehído para ambiente interno y fenol-formaldehído para ambiente externo, así como la formulación de la cola y el gramaje son parámetros que influirán directamente en la calidad del encolado y al mismo tiempo en el costo de producción del panel. Por lo tanto, la heterogeneidad y la variabilidad de las

propiedades anatómicas, físicas y químicas de la madera, entre las especies de madera, o incluso entre las diferentes partes de un árbol de una misma especie, pueden afectar las condiciones del encolado de las láminas durante el proceso de fabricación de los paneles compensados (BALDWIN, 1981; MARRA, 1992; SELLERS, 1993).

#### 2.4.1 Calentamiento de la madera.

El proceso de laminado, dependiendo de la densidad de la especie, se inicia con el acondicionamiento de la madera a la temperatura. De acuerdo con Prata (2006), el calentamiento de las trozas tiene la finalidad de ablandar la madera, facilitando el laminado además de propiciar un mejor acabado de las superficies de las láminas. Umãna y Brito (2004) comentan que, el calentamiento de la madera tiene como finalidad principal, plastificar las fibras de la madera y eliminar la resina, además de favorecer el laminado, aumentar la productividad y reducir la cantidad de paneles defectuosos y el consumo de cola.

Para Kollmann et al. (1975), la temperatura de calentamiento de la madera debe ser relacionada con la densidad de la especie, sugiriendo una temperatura de 60°C, 71°C y 93°C para maderas con masa específica promedio de alrededor de 0,46 g/cm<sup>3</sup>, 0,55 g/cm<sup>3</sup> y entre 0,60 y 0,65 g/cm<sup>3</sup>, respectivamente.

Según Prata (2006), factores como tiempo de calentamiento, contenido de humedad y temperatura de las trozas durante el laminado, regulación de las variables de corte en el torno, densidad de la madera, mantenimiento del torno, cambio oportuno de la cuchilla son factores que determinan la calidad de las láminas.

El Programa Nacional da Qualidade da Madeira (PNQM, 2009), sugiere temperaturas de cocimiento en función a su masa específica (TABLA 4).

TABLA 4 - PARÁMETROS PARA EL CALENTAMIENTO DE TROZAS EN FUNCIÓN A LA DENSIDAD DE LA MADERA

CLASE	DENSIDAD (Kg/m <sup>3</sup> )	CONDICIONES DE CALENTAMIENTO	
		TEMPERATURA °C	TIEMPO (h)
CLASE 1	Menos de 500	No es obligatorio	
CLASE 2	500 - 600	Mas de 60°C	12
CLASE 3	601 - 700	Mas de 60°C	24
CLASE 4	Mas de 700	Mas de 60°C	48

FUENTE: (PNQM, 2009).

### 2.4.2 Laminado

La calidad de las láminas es determinada por la ausencia de rugosidad, espesor uniforme, grietas de laminado poco profundas, las cuales dependen de una correcta regulación de las variables de corte de la laminadora y una adecuada tecnología para el afilado de la cuchilla y mantenimiento de la contra cuchilla o barra de presión; aspectos que contribuirán a atenuar estos defectos (JANKOWSKY, 1978).

Al respecto, French (1977) menciona que las cuchillas para laminado tienen normalmente un espesor de 19,1 mm y un ángulo de bisel de 18° a 23°; se obtienen láminas más compactas con ángulos de bisel más pequeños, sin embargo, un ángulo más grande le confiere a la cuchilla una mayor rigidez y resistencia al impacto. Lutz (1978), considera que un ángulo de bisel de 18° es usado para el laminado de madera tratada térmicamente y por corte plano; mientras que un ángulo de bisel de 23° es para el laminado de trozas por corte rotativo o desenrrollo.

Según Bortoletto Jr. (2008), es deseable obtener láminas con valores de espesores ligeramente superiores al espesor nominal, debido a que este incremento del espesor sirve para contrarrestar las pérdidas por compactación durante el prensado de paneles conformados por varias capas, indicando que hasta un 7% de sobredimensión del espesor de las láminas de madera es aceptable.

Para Thoemen et al. (2010), citado por Machado (2018), la calidad del compensado depende directamente de la calidad de las láminas, en consecuencia se deben utilizar especies adecuadas, trozas con un contenido de humedad por encima del punto de saturación de las fibras y con un acondicionamiento a la temperatura en función de la densidad de la madera, laminadoras correctamente calibradas, un correcto posicionamiento de los elementos de corte cuchilla y barra de presión y operadores altamente capacitados.

### 2.4.3 Secado de láminas

Después del laminado, las láminas presentan un alto contenido de humedad en razón de la cocción, que puede variar entre 80 a 100% (PRATA, 2006). El principal objetivo del secado de láminas es acondicionarlas para tener un buen encolado en la conformación de los paneles, los contenidos de humedad están en función del tipo de

resina a utilizar, por lo que se deben secar las láminas, con un mínimo de defectos, en el menor tiempo posible y de forma técnica y económicamente viable para el uso a que se destina (IWAKIRI, 2005).

El secado debe realizarse inmediatamente después del laminado para evitar la aparición de hongos cromógenos que manchan las láminas afectando la calidad de estas lo cual es muy común en la mayoría de las especies por sus altos contenidos de humedad, manchas por oxidación, su apilamiento sin separadores y las elevadas temperaturas ambientales en climas tropicales (LUTZ, 1978). En la TABLA 5, se muestran los contenidos de humedad, en función del tipo de resina y de la posición de la lámina en el panel (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE (ABIMCI, 2004).

TABLA 5 - CONTENIDO DE HUMEDAD DE LAS LÁMINAS PARA EL ENCOLADO EN BASE AL TIPO DE RESINA

LÁMINA	TIPO DE COLA	
	FENÓLICA	URÉICA
CARA	12%	14%
INTERMEDIO	8%	12%
CENTRO	8%	8%
CONTRA CARA	12%	14%

FUENTE: (PNQM, 2009).

Para contenidos elevados de humedad pueden ocasionar encolados débiles y afectar la calidad del panel, asimismo láminas muy secas absorben más agua contenida en el adhesivo que también perjudica el encolado de las láminas (UMAÑA y BRITO, 2004).

#### 2.4.4 Preparación de la batida del adhesivo y aplicación.

El adhesivo utilizado para el encolado de las láminas es preparado mediante la mezcla de varios componentes como: resina, extendedor (harina de trigo), agua, catalizador, materiales de relleno y aditivos químicos como retardantes al fuego, inmunizantes contra agentes biodegradadores, entre otros, en función a la capacidad del mezclador y de la vida útil del adhesivo. La formulación del adhesivo se define de acuerdo con el tipo de resina y los niveles de calidad de tableros compensados requeridos. Los componentes, así como la cantidad, en partes por peso, de cada uno

de éstos, determina la formulación específica que se utilizará en el encolado de las láminas (IWAKIRI, 2005).

El contenido de sólidos de la mezcla de cola (TS-cola), se puede calcular mediante la fórmula (1) (IWAKIRI ,2005).

$$TS - cola (\%) = \frac{[Resina (kg) \times \text{Contenido de sólidos de la resina} (\%)]}{[Resina (kg) + Agua (kg) + \textit{Extendedor} (kg) + \textit{Otros} (kg)]} \quad (1)$$

En las TABLAS 6 y 7, se muestran ejemplos básicos de formulaciones para la preparación de adhesivos a base de resinas de úrea-formaldehído y fenol-formaldehído, en función de diferentes índices técnicos requeridos para los paneles compensados.

TABLA 6 - FORMULACIONES PARA LA MEZCLA UTILIZANDO RESINA ÚREA- FORMALDEHÍDO

FORMULACIÓN (PARTES/PESO)	A	B	C	D	E
RESINA	100	100	100	100	100
EXTENDEDOR	25	50	75	100	125
AGUA	20	50	80	110	140
CATALIZADOR	6-8	6-8	6-8	6-8	6-8

FUENTE: (IWAKIRI, 2005).

A, B: exportación; C: mercado interno; C-E: compensados para marcos.

TABLA 7 - FORMULACIONES PARA LA MEZCLA UTILIZANDO RESINA FENOL- FORMALDEHÍDO

FORMULACIÓN (PARTES/PESO)	A	B	C	D
RESINA	100	100	100	100
CÁSCARA DE COCO	10	10	10	10
EXTENDEDOR	-	5	10	25
AGUA	-	10	15	50

FUENTE: EN 314-2 (CEN, 1993).

A: Exterior a la intemperie; B, C, D: Exterior cubierto

Respecto al adhesivo para la fabricación de paneles para uso en interior, la resina de úrea- formaldehído (UF), tiene una amplia aplicación en la industria maderera en todo el mundo, en el encolado de madera sólida y en los compuestos laminados y particulados en general. En más del 90 % de fabricación de paneles a base de madera se viene utilizado este tipo de resina, debido a su bajo costo en

comparación con otras resinas (IWAKIRI, 2005).

Según French (1977), las resinas de úrea son comercializadas en forma de polvo seco o como suspensión en agua, las que tienen entre 40% y 50% de contenido de sólidos son conocidas como de baja concentración y las que tienen entre 60% a 70% de contenido de sólidos son denominadas de alta concentración. Al respecto, Iwakiri (2005) indica que las resinas de úrea-formaldehído son producidas en soluciones acuosas, con un contenido de sólidos entre 60 a 70%, o también en forma de polvo. Presenta una coloración blanca lechosa, un pH en un rango de 7,4 a 7,8, una viscosidad en el rango de 400 a 1000 cPs (25°C), y el curado se lleva a cabo por la reducción del pH, por medio de la adición de un catalizador ácido.

Akzo Nobel Perú S.A.C (2017a), con relación al Polímero 230, menciona que es una resina líquida viscosa producida por condensación de la úrea con formaldehído, de blanco y opaco, con un contenido de sólidos de 64 a 66%, pH en un rango de 8,0 a 8,6; viscosidad entre 200 a 600 cPs; densidad de 1,290 a 1,310 g/cm<sup>3</sup> temperatura de curado entre 100 y 125°C; empleada en la fabricación de paneles compensados, paneles de partículas y paneles de fibra para uso en interiores.

El adhesivo para uso en exteriores es a base de la resina fenol-formaldehído (FF), que fue introducida comercialmente en la década de los 30, y presenta como característica principal alta resistencia a la humedad, siendo clasificada como para uso exterior. Su uso está destinado principalmente a la producción de tableros compensados a prueba de agua, paneles de fibra de alta densidad, paneles aglomerados estructurales y OSB, la resina es de color marrón rojizo; con un contenido de sólidos entre 48 a 51%, pH en un rango de 11 a 13; viscosidad entre 300 a 600 cPs; densidad de 1,0 a 1,25 g/cm<sup>3</sup>; temperatura de prensado entre 130 y 150°C y vida útil de almacenamiento de 4 a 5 meses a una temperatura de 20°C (IWAKIRI, 2005). Al respecto, Akzo Nobel Perú S.A.C. (2017b), en relación con el Polímero 66 DO menciona que es una resina líquida de fenol-formaldehído de color rojizo, con un contenido de sólidos de 44 a 46%, pH en un rango de 11,5 a 12,5; viscosidad entre 200 a 500 cPs; densidad de 1,165 a 1,175 g/cm<sup>3</sup>; temperatura de curado entre 115 y 125°C; empleada en la fabricación de madera contrachapada de alta calidad. Según Palma (1986), las empresas que producen adhesivos fenólicos recomiendan gramajes de 300 a 400 g/m<sup>2</sup> en doble línea de cola.

Los paneles compensados para uso exterior son definidos como paneles producidos con un encolado a “prueba de agua”, presentando características de alta

resistencia mecánica y destinado a usos que requieran alta resistencia a la humedad del ambiente o en contacto directo con el agua ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT, 2001). El tipo de resina mas adecuada para la fabricación de paneles compensados para uso exterior es el fenol-formaldehído por sus características de mayor resistencia y durabilidad en condiciones extremas de exposición a la humedad (MARRA ,1992).

La aplicación del adhesivo sobre la superficie de la lámina puede realizarse mediante encoladoras de rodillos, espray, cortina o por extrución. En todos ellos, se debe controlar la cantidad de adhesivo a ser aplicado por metro cuadrado de área (gramaje), el cual depende del tipo de resina, espesor de la lámina y de la formulación. Para adhesivos a base de úrea-formaldehído, se recomienda gramajes de 320 a 380 g/m<sup>2</sup> (doble línea de cola), siendo de 320 g/m<sup>2</sup> para láminas de 1 mm de espesor y de 380 g/m<sup>2</sup> para láminas de 3 mm de espesor. Para adhesivos a base de resina fenol-formaldehído, se recomienda gramajes de 360 a 430 g/m<sup>2</sup> (doble línea de cola) (IWAKIRI, 2005).

#### 2.4.5 Ensamblado del panel y prensado

La formación del panel consiste en sobreponer las láminas encoladas con la dirección de las fibras entre dos láminas consecutivas formando un ángulo de 90°, el número de capas normalmente es impar, para lo cual es importante una buena selección de la calidad de las láminas previo a la etapa del montaje, considerando que los paneles son clasificados por la calidad de sus láminas externas, cara y contracara (LUTZ ,1978).

El tiempo de montaje, también conocido como tiempo de ensamblaje, es una variable importante para la calidad del panel, y se inicia con la aplicación del adhesivo hasta el momento en que el panel entra en contacto con las placas caliente de la prensa, durante este tiempo ocurre la penetración del adhesivo en las capas superficiales del tablero, por lo tanto, si este tiempo es menor que el ideal no habrá penetración del adhesivo, resultando en una línea de cola deficiente, por el contrario, si el tiempo es mayor, ocurrirá una polimerización parcial del adhesivo antes del prensado en caliente (JANKOWSKY, 1979). El pre-prensado (prensado en frio) es muy importante antes del prensado en caliente debido a que su principal finalidad es

favorecer la transferencia y distribución del adhesivo entre las láminas y facilitar las operaciones de cargado a la prensa, además de evitar el pre-curado (IWAKIRI et al. 2005).

El prensado en caliente es la siguiente etapa después del pre-prensado, y donde variables como temperatura, presión específica, tiempo de carga, descarga y tiempo de prensado deben ser controlados, la presión promueve el contacto entre las láminas y los platos calientes de la prensa y la temperatura aplicada al panel favorece el curado del adhesivo. Las variables temperatura, tiempo de permanencia y presión, determinan el nivel de compresión o compactación del panel, afectando directamente el espesor final (BALDWIN, 1981).

El Programa Nacional da Qualidade da Madeira (PNQM, 2009) y la Associação Brasileira da Indústria de Madeira Processada Mecanicamente (ABIMCI, 2009), recomiendan para maderas de Pinus, un tiempo de 2,5 minutos como máximo para el cargado de los paneles a la prensa y una temperatura de prensado entre 125 a 150°C para resina fenólica y de 95 a 115°C para resina uréica y una presión específica entre 8 a 12 kgf/cm<sup>2</sup> para paneles fabricados con resina fenólica.

La función principal de la temperatura durante el proceso de prensado es acelerar la polimerización del adhesivo, siendo definida en función del tipo de adhesivo, y la presión actúa generando el contacto superficial entre las láminas, facilitando la penetración del adhesivo y la transferencia de calor. El tiempo de prensado debe ser suficiente para que el interior del panel alcance la temperatura necesaria para la polimerización del adhesivo (MARRA, 1992; MALONEY, 1993; POBLETE, 2001). El tiempo de prensado depende, sobretodo, de la eficiencia de la transferencia de calor, del espesor del panel, la temperatura de prensado y del tipo adhesivo (IWAKIRI, 2005). La reducción del tiempo en la consolidación del panel es económicamente deseable, ya que implica una mayor productividad y un menor consumo de energía, sin embargo, la reducción del tiempo de prensado podría también reducir las propiedades de resistencia mecánica del panel (Matos, 1988) citado por TRIANOSKI (2015).

Las temperaturas y las presiones a las que son sometidos los paneles compensados tienen un efecto directo en la compactación de los paneles, lo cual está relacionado con el tiempo de duración de la aplicación de los más altos valores de temperatura y presión. Para lograr un equilibrio entre la transferencia de calor y la compactación, la nueva tecnología del prensado de paneles compensados se

enfocado al desarrollo de prensas que permitan aplicar altas presiones (1,2 MPa o más) al inicio del prensado para forzar el contacto entre las láminas e incrementar la tasa de transferencia de calor, liberando paulatinamente esa presión conforme avanza el prensado (10,3 MPa – 0,9 MPa), con la finalidad de recuperar parte del espesor comprimido (ZAVALA y VALDIVIA, 2004).

#### 2.4.6 Antecedentes de trabajos de investigación sobre paneles compensados.

Machado et al. (2018), en su investigación sobre producción de paneles compensados para uso exterior con maderas de paricá (*Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke y embaúba (*Cecropia palmata* Willd), procedente de bosques naturales de 16 a 19 años de edad, utilizando láminas de 1,6 mm de espesor secadas a un contenido de humedad de 9 a 12%, elaborando tableros de 9 capas con gramajes de 145 g/m<sup>2</sup> por línea simple, prensadas a una temperatura de 130° C, una presión específica de 12 Kg/cm<sup>2</sup> y un tiempo de prensado de 14 minutos, determinaron una absorción promedio de 65,4 a 86,3%, un hinchamiento 5,4 a 7,8% para los paneles con un contenido de humedad de 11,63 a 13,01%; una resistencia al cizallamiento de la línea de cola promedio entre 0,9 MPa y 1,3 MPa, con un porcentaje de falla de 77 % a 55 %, respectivamente, una resistencia en flexión estática en probetas con la dirección perpendicular a las fibras de 1901 MPa a 4094 MPa para el MOE y de 22,65 MPa a 31,63 MPa para el MOR; y para probetas con la dirección paralela a las fibras de 3386 MPa a 7614 MPa para el MOE y de 31,15 MPa a 47,52 MPa para el MOR, para tableros de masa específica promedio entre 0,39 g/cm<sup>3</sup> a 0,57 g/cm<sup>3</sup>.

Iwakiri et al. (2002), al evaluar la calidad de paneles compensados producidos con láminas de madera de *Pinus taeda* L. y *Pinus oocarpa* Schiede con una densidad media de 0,48 g/cm<sup>3</sup> y 0,47 g/cm<sup>3</sup>, respectivamente, de 2,0 mm de espesor secadas a 10 % de contenido de humedad, elaborando tableros de 5 capas utilizando resinas de úrea-formaldehído con 65% de contenido de sólidos, tres formulaciones con 42,76%, 24,81% y 17,47% de contenido de sólidos totales, utilizando un gramaje de 350 g/m<sup>2</sup> en doble línea de cola, prensados a una temperatura de 100° C, una presión específica de 10 Kg/cm<sup>2</sup> y un tiempo de prensado de 9 minutos; determinaron una resistencia de cizallamiento promedio de línea de cola de 2,17 MPa para los paneles de *Pinus oocarpa* Schiede y de 1,04 MPa para los paneles de *Pinus taeda* L. ; con una resistencia promedio en flexión estática de 12169,36 MPa y 8482,57 MPa a 4234

MPa para el MOE; y de 76,70 MPa y 64,04 MPa para el MOR para paneles de *Pinus oocarpa* Schiede y *Pinus taeda* L., respectivamente. Así mismo, para las propiedades físicas de hinchamiento e hinchamiento mas recuperación en espesor, se obtuvo 10,08% y 5,19%, respectivamente para *Pinus taeda* L. y 14,88% y 9,40% para *Pinus oocarpa* Schiede.

Iwakiri et al. (2013), en la investigación sobre la producción de paneles compensados fenólicos con láminas de madera de *Sequoia sempervirens* procedente de una plantación de 18 años de edad, utilizando láminas de 2,5 mm de espesor secadas a 6% de contenido de humedad, elaborando tableros de 5 capas con gramajes de 280 y 320 g/m<sup>2</sup>, prensadas a una temperatura de 130° C, una presión específica de 10 Kgf/cm<sup>2</sup> y un tiempo de prensado de 10 minutos, determinaron una resistencia de cizallamiento promedio de línea de cola entre 1,13 MPa y 1,37 MPa para la prueba en seco, con un porcentaje de falla de 8,70 % a 18,82 % respectivamente y de 0,66 MPa a 0,94 MPa para la prueba en caliente (hervor) con un porcentaje de falla de 12,56 % a 38,19 % respetivamente; una resistencia en flexión estática en probetas con la dirección paralelo a las fibras de 3188 MPa a 3624 MPa para el MOE y de 24 MPa a 29 MPa para el MOR; y para probetas con la dirección perpendicular a las fibras de de 1014 MPa a 1317 MPa para el MOE y de 12 MPa a 15 MPa para el MOR, para tableros de masa específica promedio entre 0,408 g/cm<sup>3</sup> a 0,426 g/cm<sup>3</sup>.

Trianoski et al. (2015), al evaluar las propiedades de paneles compensados de *Melia azederach* L. producidos con diferentes gramajes y tiempos de prensado con láminas de madera procedente de una plantación de 18,5 años de edad, utilizando láminas de 2,0 mm de espesor secadas a un contenido de humedad de 6 a 8 %, elaborando tableros de 5 capas utilizando urea formaldehído con un 61,8% de contenido de sólidos, con gramajes de 160, 180 y 200 g/m<sup>2</sup>, prensadas a una temperatura de 110° C, una presión específica de 1,0 MPa y tiempos de prensado de 8 y 10 minutos, determinaron una resistencia de cizallamiento promedio de línea de cola de 2,23 MPa 2,49 MPa y con un porcentaje de falla entre 21 % a 68 % respectivamente para la prueba en seco y de 2,02 MPa a 2,23 MPa para la prueba en húmedo luego de 24 horas de inmersión en agua con un porcentaje de falla entre 9 % a 19 % respectivamente; una resistencia en flexión estática en probetas con la dirección paralelo a las fibras de 7632,46 MPa a 8071 MPa para el MOE y de 71,08

MPa a 76,70 MPa para el MOR; y para las probetas con la dirección perpendicular a las fibras de 2266,94 MPa a 2807,37 MPa para el MOE y de 30,61 MPa a 37,42 MPa.

Iwakiri et al (2011), al evaluar la calidad de paneles compensados producidos con láminas de madera de *Schizolobium amazonicum* con una densidad media de 0,31 g/cm<sup>3</sup> y de 2,0 mm de espesor secadas a 8 % de contenido de humedad, elaborando tableros de 5 capas utilizando resinas de úrea-formaldehído con dos formulaciones con 35,8% y 24,8% de contenido de sólidos totales y fenol-formaldehído con 49% de contenido de sólidos y dos formulaciones con 42,61% y 36,30% de contenido de sólidos totales, utilizando gramajes de 280 y 320 g/m<sup>2</sup> en doble línea de cola, prensados a una temperatura de 95° C, una presión específica de 10 Kgf/cm<sup>2</sup> y un tiempo de prensado de 10 minutos para el encolado con úrea-formaldehído y de 110 °C, una presión específica de 10 kgf/cm<sup>2</sup> y 12 minutos de tiempo de prensado para los paneles encolados con fenol-formaldehído, determinaron una resistencia de cizallamiento promedio de línea de cola, para los tableros encolados con úrea-formaldehído, entre 0,72 MPa y 0,94 MPa para la prueba en seco, con un porcentaje de falla de 92 % a 100 % respectivamente; una resistencia en flexión estática en probetas con dirección paralelo a las fibras de 3444 MPa a 4234 MPa para el MOE y de 24,1 MPa a 33,2 MPa para el MOR para paneles de masa específica promedio entre 0,335 y 0,371 g/cm<sup>3</sup>, y para probetas con la dirección perpendicular a las fibras de 1230 MPa a 1586 MPa para el MOE y de 11,2 MPa a 19,1 MPa para el MOR, para tableros de masa específica promedio entre 0,328 g/cm<sup>3</sup> a 0,372 g/cm<sup>3</sup> y para los tableros encolados con fenol-formaldehído una resistencia de cizallamiento promedio de línea de cola, entre 0,67 MPa y 0,84 MPa para la prueba en caliente (hervor), con un porcentaje de falla de 21% a 71 % respectivamente; una resistencia en flexión estática en probetas con dirección paralelo a las fibras de 3965 MPa a 5279 MPa para el MOE y de 21,2 MPa a 27,4 MPa para el MOR para paneles de masa específica promedio entre 0,353 y 0,394 g/cm<sup>3</sup> y para probetas con la dirección perpendicular a las fibras de 1165 MPa a 1623 MPa para el MOE y de 12,1 MPa a 17,1 MPa para el MOR, para tableros de masa específica promedio entre 0,345 g/cm<sup>3</sup> a 0,375 g/cm<sup>3</sup>.

Iwakiri et al. (2012a), en su investigación sobre la producción de paneles compensados con láminas de madera de *Sequoia sempervirens* y resina úrea-formaldehído procedente de una plantación de 18 años de edad, utilizando láminas de 2,5 mm de espesor secadas a 6% de contenido de humedad, elaborando tableros de 5 capas con gramajes de 280 y 320 g/m<sup>2</sup>, dos formulaciones de 49,95 % y de 35,80

% de porcentaje de sólidos totales prensadas a una temperatura de 110° C, una presión específica de 10 Kgf/cm<sup>2</sup> y un tiempo de prensado de 8 minutos, determinaron una resistencia de cizallamiento promedio de línea de cola entre 1.0 MPa y 1,36 MPa para la prueba en seco, con un porcentaje de falla de 65% a 84 % respectivamente y de 0,62 MPa a 1,25 MPa para la prueba en húmedo a las 24 horas de inmersión en agua, con un porcentaje de falla de 20,0 % a 68,5 % respectivamente; una resistencia en flexión estática en probetas con dirección paralelo a las fibras de 2718 MPa a 3503 MPa para el MOE y de 23 MPa a 26 MPa para el MOR para tableros de masa específica promedio de 0,407 a 0,423 g/cm<sup>3</sup> ; y para probetas con la dirección perpendicular a las fibras de 1051 MPa a 1335 MPa para el MOE y de 8 MPa a 14 MPa para el MOR, para tableros de masa específica promedio entre 0,415 a 0,432 g/cm<sup>3</sup>.

Iwakiri et al. (2006), al evaluar la calidad de compensados fenólicos de *Eucalyptus grandis*, *Araucaria angustifolia* y *Pinus taeda* utilizando láminas de 1,8 mm de espesor secadas a 6% de contenido de humedad, elaborando tableros de 5 capas con un gramaje de 190 g/m<sup>2</sup> (líneas simples), utilizando dos formulaciones de 43,64 % y de 35,56 % de porcentaje de sólidos totales prensadas a una temperatura de 140° C, una presión específica de 10 Kgf/cm<sup>2</sup> para *Pinus* y un tiempo de prensado de 10 minutos y una presión específica de 15 Kgf/cm<sup>2</sup> para *araucaria* y *eucalypto* y 12 minutos de tiempo de prensado; determinaron para *Pinus taeda*, cuya masa específica de la madera fue de 0,53 g/cm<sup>3</sup> , una resistencia de cizallamiento promedio de línea de cola de 1,40 MPa y 2,04 MPa para la prueba en húmedo y de 1,08 MPa a 1,40 MPa para la prueba en caliente (hervor) y una resistencia en flexión estática promedio de 10268 MPa a 10515 MPa para el MOE y de 75,41 MPa a 68,16 MPa para el MOR.

Iwakiri et al. (2012b), al evaluar el uso potencial de cinco especies de pinos tropicales de densidad básica promedio de 0,394 a 0,571 g/cm<sup>3</sup> y nueve especies de eucaliptos de densidades básicas promedio de 0,436 g/cm<sup>3</sup> a 0,617 g/cm<sup>3</sup> y con una edad promedio de 20 a 25 años proveniente de plantaciones forestales, en la producción de paneles compensados ureicos utilizando resina úrea-formaldehído( UF) con 65% de contenido de sólidos, pH de 8,0 y viscosidad Brookfield de 420 cP y láminas de 2,0 mm de espesor secadas a 8 % de contenido de humedad, elaborando tableros de 5 capas con un gramaje de 360 g/m<sup>2</sup> (doble línea), prensados a una temperatura de 110° C, una presión específica de 10 Kgf/cm<sup>2</sup> y un tiempo de prensado de 7 minutos, determinaron para *Pinus taeda*, especie referente de la

investigación, una resistencia de la línea de cola al cizallamiento promedio, para la prueba en seco, de 1,95 MPa con un porcentaje de falla de la madera de 24% y de 1,17 MPa con un porcentaje de falla de 23%, para la prueba en húmedo a las 24 horas de inmersión en agua; una resistencia en flexión estática en sentido paralelo de 8541 MPa y 72,96 MPa para el MOE y MOR, respectivamente y 2655 MPa y 32,44 MPa MOE y MOR en sentido perpendicular.

### 3 METODOLOGÍA

#### 3.1 MATERIAL

Se utilizaron maderas de las especies bolaina (*Guazuma crinita* Mart.) y como especie referente lupuna (*Ceiba pentandra* (L) Gaertn), por ser una de las especie más utilizadas (85%), en la producción de paneles compensados por las empresas de la región Amazónica del Perú.

Las láminas de lupuna fueron donadas la empresa de paneles compensados Industrial Ucayali SAC (IUSAC), ubicada en la ciudad de Pucallpa, capital del departamento de Ucayali, coordenadas Latitud 8°23'21"SO - Longitud 74° 33' 44"WO. Las láminas secas de 2,2 mm de espesor fueron dimensionadas a 600 mm x 600 mm de ancho y largo, respectivamente, embaladas y enviadas al Laboratório de Productos Forestales de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM), ubicada en el distrito de La Molina, provincia de Lima, Departamento Lima – Perú.

Las láminas de bolaina (*Guazuma crinita* Mart.) fueron obtenidas de cuatro árboles los cuales fueron previamente rotulados antes de ser talados (FIGURA 11).

FIGURA 11 - IDENTIFICACIÓN Y ROTULADO DE LOS ÁRBOLES DE BOLAINA SELECCIONADOS

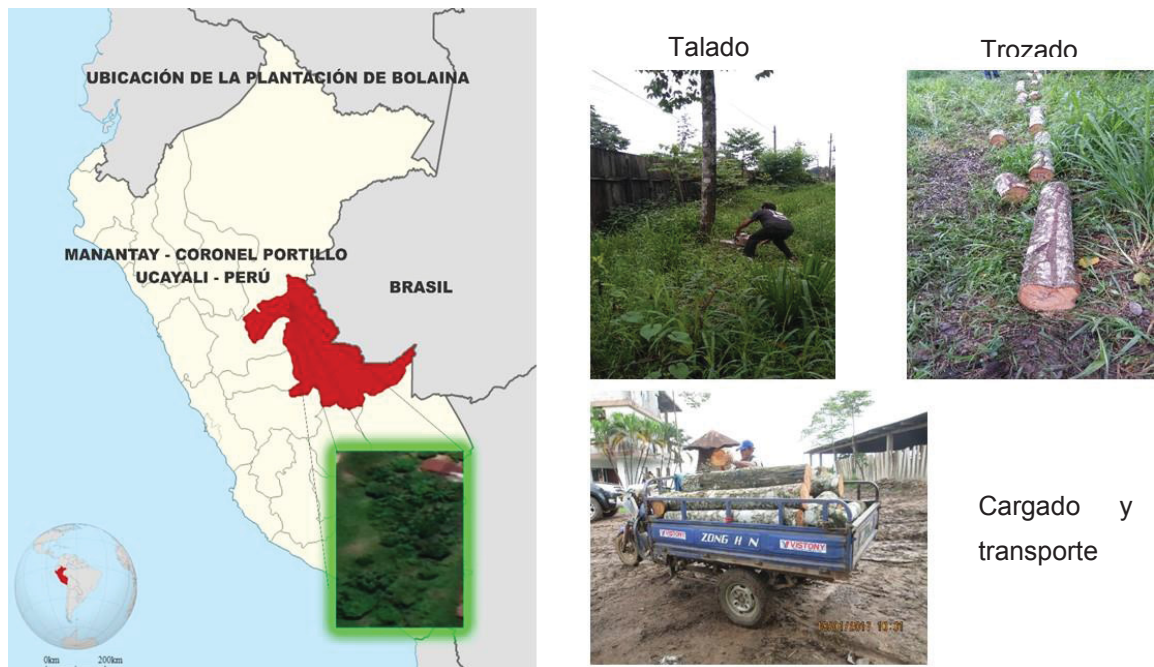


FUENTE: El autor (2017).

Los árboles de Bolaina (*Guazuma crinita* Mart.) fueron extraídos de una plantación experimental de 15 años, localizada en el distrito de Manantay, provincia Coronel Portillo, departamento de Ucayali, coordenadas Latitud 08°25'25"SO - Longitud 74°32'40" WO.

Después del talado, los árboles fueron cortados en trozas de 130 cm de largo, obteniéndose 19 trozas de los cuatro árboles, del extremo superior de cada troza se preparó una muestra de 30 cm de largo para determinar las propiedades anatómicas, físicas, mecánicas y químicas de la madera (FIGURA 12).

FIGURA 12. MAPA DE UBICACIÓN DE LA ZONA DE EXTRACCIÓN DE LOS ÁRBOLES DE BOLAINA Y OPERACIONES REALIZADAS



FUENTE: El autor (2019).

Las trozas de cada árbol fueron codificadas secuencialmente a partir de la base del árbol considerando el número de árbol (1, 2, 3 y 4), seguida de una letra (A, B, C, D, E y F), de acuerdo con el número de trozas obtenidas de cada árbol, para luego proceder a tomar las dimensiones de la circunferencia, diámetro y largo de la troza, tal como se muestra en la TABLA 8 y en la FIGURA 13.

TABLA 8 - CARACTERÍSTICAS DE LOCALIZACIÓN Y DENDROMÉTRICAS DE LOS ÁRBOLES Y TROZAS DE BOLAINA

ESPECIE	BOLAINA	BOLAINA	BOLAINA	BOLAINA
Nº SECUENCIAL	1	2	3	4
Nº DE ÁRBOL	1101MA1	1101MA2	1101MA3	1101MA4
LUGAR	MANANTAY	MANANTAY	MANANTAY	MANANTAY

COORDENADAS:

LATITUD 8° 23' 21" SO

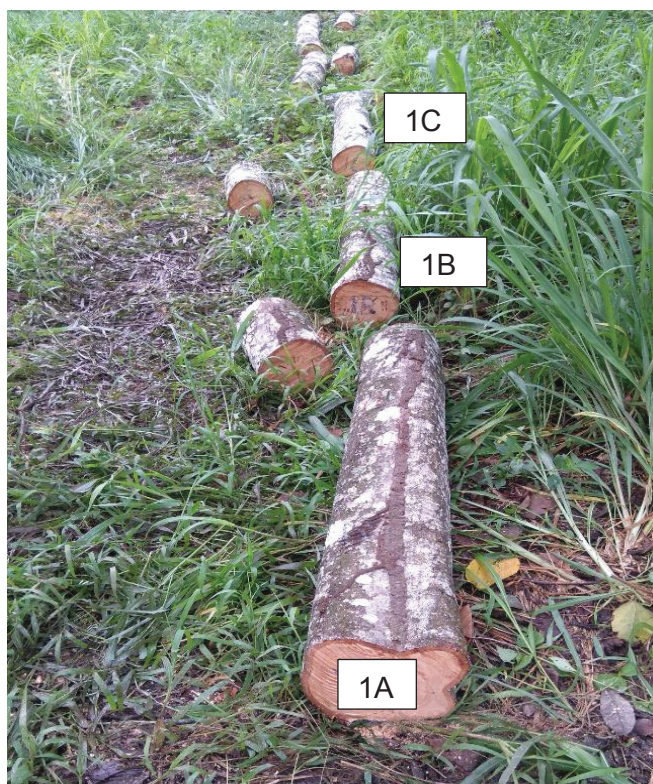
LONGITUD 74° 33' 44" WO

DAP (cm)	21,0	22,0	18,0	20,0
Nº DE TROZAS	6	3	5	5
ALTURA COMERCIAL (m)	10,0	10,0	8,1	8,6

FUENTE: El autor (2019).

DAP: diámetro a la altura del pecho.

FIGURA 13 - CODIFICACIÓN DE LAS TROZAS DE BOLAINA



FUENTE: El autor (2017).

Luego, las trozas fueron transportadas a la empresa de paneles compensados Maderas y Triplay de Exportación (MAYTE), localizada en el distrito de Yarinacocha, provincia Coronel Portillo, departamento de Ucayali, coordenadas Latitud 8°23'34"SO - Longitud 74° 38' 24"WO, para el proceso de laminado.

## 3.2 MÉTODOS

### 3.2.1 Evaluación de las características anatómicas de la madera.

Las características anatómicas de la madera fueron determinadas siguiendo los procedimientos indicados en el Boletín de la *International Association of Wood Anatomists* (IAWA, 1989).

### 3.2.2 Determinación de características físicas de la madera.

La masa específica básica fue determinada según lo estipulado en la NTP 251.011 (INACAL, 2014).

### 3.2.3 Determinación de características químicas de la madera.

Las características químicas de la madera fueron determinadas en base a la norma TAPPI T 204 cm-17 (TAPPI, 2017) para los extractivos totales, la norma TAPPI 252 om-16 (TAPPI, 2016b) para el pH de la madera y la norma TAPPI T 211 om-16 (2016a) para la determinación del contenido de cenizas.

### 3.2.4 Determinación de la conicidad de las trozas.

La conicidad de la troza es la diferencia entre el diámetro de la base y el diámetro de la punta con la distancia que las separa y tiene una gran influencia en el rendimiento de laminado se calculó utilizando la fórmula (2). (SCANAVACA; GARCIA, 2003; VIGNOTE; MARTINEZ, 2005).

$$C = (DM - Dm)/l \quad (2)$$

Donde:

C = Conicidad de la troza (cm/m).

DM = Diámetro mayor sin corteza (cm).

Dm = Diámetro menor sin corteza (cm).

l = Largo de la troza (m).

### 3.2.5 Laminado

Las trozas fueron laminadas en un torno desenrollador marca Cremona a un espesor de 2,2 mm en la empresa Maderas y Triplay de Exportación (MAYTE), localizada en el distrito de Yarinacocha en la Región de Ucayali (FIGURA 14).

FIGURA 14 - TORNO DESEENROLLADOR



FUENTE: El autor (2017).

El torno utilizado medía 140 cm de largo con una capacidad de volteo de 80 cm, equipado con coronas para sujetar la troza de 7 pulgadas (17,8 cm) y de 4,1 pulgadas (10,5 cm) de diámetro respectivamente y con una cuchilla de 135,2 cm de largo, 20 cm de ancho y 12,2 mm de espesor con un ángulo de bisel de 19°; y con una barra de presión plana. (FIGURAS 15, 16 Y 17).

FIGURA 15 - CUCHILLA DEL TORNO DESEENROLLADOR



FUENTE: El autor (2017).

FIGURA 16 – LAMINADO DE UNA TROZA DE BOLAINA



FUENTE: El autor (2017).

FIGURA 17 - TROZA DE BOLAINA REDONDEADA



FUENTE: El autor (2017).

### 3.2.6 Secado de láminas

Las láminas de bolaina fueron secadas en un secador de rodillos marca OMECO, de tres pisos, con una zona de carga, siete cámaras de secado, una zona de enfriamiento y una zona de descarga, utilizando como fluido de calentamiento aceite térmico, temperaturas de secado entre 140 °C y 150 °C, con una velocidad de avance promedio de 30 m/mim y a un contenido de humedad de 6 a 12 %. (FIGURAS 18 y 19).

FIGURA 18 - SECADOR DE LÁMINAS DE RODILLOS DE TRES NIVELES



FUENTE: El Autor (2017).

FIGURA 19 – SECADO DE LÁMINAS DE BOLAINA



FUENTE: El Autor (2017).

Luego las láminas fueron dimensionadas a 60 x 60 cm, 60 x 30 cm, 60 x 20 cm y 60 x 10 cm, embaladas y enviadas al Laboratorio de Productos Forestales de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM), como se muestra en la FIGURA 20.

FIGURA 20 - EMPAQUETADO Y EMBALADO DE LAS LÁMINAS DE BOLAINA DIMENSIONADAS



FUENTE: Autor (2017).

### 3.2.7 Clasificación de láminas

La clasificación de las láminas se realizó después del secado y dimensionado, de acuerdo con los criterios establecidos en la NTP 251.040 (INACAL, 2010).

### 3.2.8 Rendimiento de laminado

El rendimiento del laminado de las trozas de bolaina fue calculado conociendo el volumen de láminas y el volumen de la troza que se empleó, utilizando la fórmula recomendada (QUIRÓS et al., 2005), en la que el rendimiento expresa el porcentaje del volumen utilizable (láminas) respecto al volumen total de cada troza, para lo cual se utilizó la fórmula (3):

$$R = V_{lam}/V_{tr} \times 100 \quad (3)$$

Donde:

R = Rendimiento de laminado (%).

$V_{lam}$  = Volume total de láminas ( $m^3$ ).

$V_{tr}$  = Volume total de troza descortezada ( $m^3$ ).

Para determinar el volumen de láminas se utilizó la fórmula (4):

$$V_{lam} = l \times a \times e \times n \quad (4)$$

Donde:

$V_{la}$  = Volumen total de láminas ( $m^3$ ).

l = Largo de la lámina (m).

a = Ancho promedio medido en los dos extremos de las láminas (m).

e = espesor promedio de las láminas (m).

n = cantidad de láminas.

La distribución de residuos generado en el proceso de producción de láminas secas fue calculada en base a la fórmula (5):

$$RT = RP + RRD + RV + CS \quad (5)$$

Donde:

RT = Resíduos totales (%)

RP = Resíduos por el "polín" o rolo (%)

RRD = Resíduos por redondeo (%)

RV = Resíduos varios (%).

CS = Contracción tangencial por secado (%).

Cálculo de los residuos por redondeo (RRD), fueron calculados según la fórmula (6):

$$\text{RRD} = \text{Vtr} - \text{Vtrd}/\text{Vtr} \times 100 \quad (6)$$

Donde:

RRD = Residuos por redondeo (%)

Vtr = Volume total de troza descortezada (m<sup>3</sup>)

Vtrd = Volume total de troza redondeada (m<sup>3</sup>)

Contracción por secado (CS), fue determinado utilizando la fórmula (7):

$$\text{CS} = (\text{Alh} - \text{Als}/\text{Alh}) \times 100 \quad (7)$$

Donde:

CS = Contracción tangencial (%)

Alh = Ancho de lámina húmeda (mm)

Als = Ancho de lámina seca (mm)

Cubicación del Polín o "rolo" (RP)

La determinación del volumen de la troza descortezada, redondeada y del Polín o "rolo", se realizó en base a la fórmula de Smalián, indicada en la fórmula 8.

$$V = \frac{A1 + A2}{2} \times L$$

Donde: (8)

V = Volumen de la troza descortezada, redondeada o del polín (m<sup>3</sup>).

A1 = Área de un extremo de la troza descortezada, redondeada o del polín (m<sup>2</sup>).

A2 = Área del otro extremo de la troza descortezada, redondeada o del polín (m<sup>2</sup>).

L = Largo de la troza descortezada, redondeada, o del polín (m).

Resíduos varios (RV): láminas secas por dimensionamiento y clasificación, fueron calculados aplicando la fórmula (9):

$$RV = VTR - (VP+RRD+CS) \quad (9)$$

Donde:

RV = Resíduos varios (%)

Vtr = Volumen de la troza (%)

Vp = Volumen del polin (%)

RRD = Resíduos por redondeo (%)

CS = Contracción por secado (%)

### 3.2.9 Preparación de la batida de cola en base a las formulaciones propuestas.

La resina urea-formaldehído (UF) utilizada fue el polímero 230 comercializada por AkzoNobel Perú, con un porcentaje de sólidos, entre 64 a 66%. El adhesivo fue preparado en una batidora con constante agitación adicionando la resina con un 65% de contenido de sólidos, la harina, el agua y finalmente el catalizador. La formulación de la cola que se muestra en la TABLA 9, se elaboró tomando como referencia el catalogo de resinas, empleando para la formulación A: resina 100, extendedor (harina de trigo) 20, agua 20 y catalizador 1,5. Para la formulación B: resina 100, extendedor (harina de trigo) 40, agua 40 y catalizador 1,7 con un contenido de sólidos de la batida de 45,9 % para la formulación A y 35,8% para la formulación B.

La resina fenol-formaldehído utilizada fue el polímero 66DO comercializada por AkzoNobel Perú, con un porcentaje de sólidos entre 44 a 46%. El adhesivo fue preparado en una batidora con constante agitación adicionando la resina con un 46% de contenido de sólidos, la harina y el agua. La formulación de la cola (TABLA 12), se elaboró tomando como referencia el catalogo de resinas, empleando para la formulación B: resina 100, extendedor (harina de trigo) 10 y agua 10. Para la formulación C: resina 100, extendedor (harina de trigo) 20 y agua 20 con un contenido de sólidos por batida de 40,0 % para la formulación B y 34,28% para la formulación C.

TABLA 9 – FORMULACIONES UTILIZADAS PARA LAS RESINAS ÚREA-FORMALDEHIDO (UF) Y FENOL-FORMALDEHÍDO (FF)

FORMULACIÓN (PARTES/PESO)	UF		FF	
	A	B	B	C
RESINA	100	100	100	100
HARINA DE TRIGO	20	40	10	20
AGUA	20	40	10	20
CATALIZADOR	1,5	1,7	-	-
TS-COLA (%)	45,9	35,8	40,0	34,28

FUENTE: El autor (2019).

UF: úrea-formaldehído; FF: fenol-formaldehído; TS-COLA: contenido de sólidos de la batida de cola.

### 3.2.10 Ensamblado, encolado y prensado de los paneles.

El ensamblado se realizó sobreponiendo las láminas de dimensiones de 60 x 60 cm y un espesor de 2,2 mm, de tal forma que la orientación del grano de las láminas forme un ángulo de 90° entre dos láminas adyacentes (FIGURA 21).

FIGURA 21 - DIAGRAMA DEL ENSAMBLADO DE LOS PANELES DE CINCO CAPAS DE BOLAINA, LUPUNA Y BOLAINA/LUPUNA

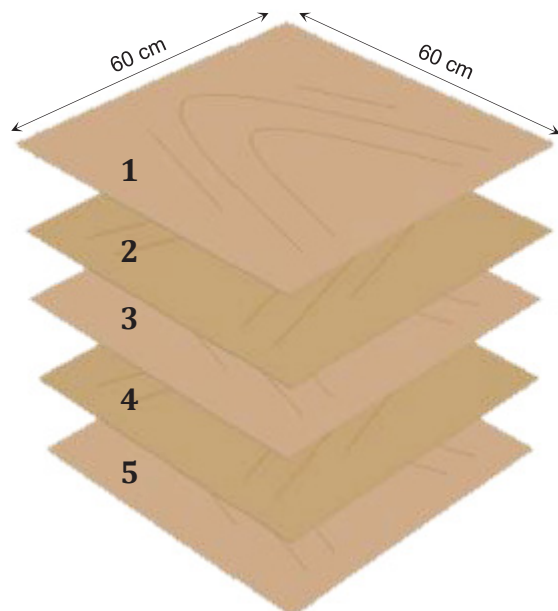


Lámina	Diseño 1	Diseño 2	Diseño 3
1	Bolaina	Lupuna	Bolaina
2	Bolaina	Lupuna	Lupuna
3	Bolaina	Lupuna	Lupuna
4	Bolaina	Lupuna	Lupuna
5	Bolaina	Lupuna	Bolaina

FUENTE: El autor (2019).

El encolado con ambos tipos de resinas se realizó en forma manual extendiendo, el peso que le correspondía a los 0,72 m<sup>2</sup> del área total de cada lámina a encolar (0,36m<sup>2</sup> x 2 superficies) y para un gramaje de 380 g/m<sup>2</sup> en doble línea de

cola, que según la FIGURA 23, serían las láminas 2 y 4 por ambas superficies. La cantidad de cola que le correspondía a cada superficie mas un exedente de 10%, para compensar la cola que se pudiera quedar impregnada en el vaso y por la forma de encolado manual, fue pesado en un vaso de plástico para luego ser vertido sobre la superficie de la lámina denominada “centros” (miolo). (FIGURAS 22, 23 Y 24).

FIGURA 22 - ENCOLADO MANUAL DE LÁMINAS DE BOLAINA (UF)



FUENTE: El autor (2018).

FIGURA 23 - ENCOLADO MANUAL DE LÁMINAS DE LUPUNA (UF)



FUENTE: El autor (2018).

FIGURA 24 - ENCOLADO MANUAL DE LÁMINAS DE BOLAINA (FF)



FUENTE: El Autor (2018).

El prensado de los paneles se realizó en una prensa de placas calientes utilizando una temperatura de 115 °C, una presión específica de 0,6 MPa y 8 minutos de tiempo de prensado para los tableros encolados con úrea formaldehído; y una temperatura de 130 °C, una presión específica de 1,0 MPa y 6 minutos de tiempo de prensado para los tableros encolados con fenol formaldehído (FIGURAS 25, 26 Y 27).

FIGURA 25 - PRENSA DE PLATOS CALIENTES



FUENTE: El Autor (2018).

FIGURA 26 - Prensado de paneles encolados con úrea-formaldeído a una temperatura de 115 °C



FUENTE: El Autor (2018).

FIGURA 27 - Prensado de paneles encolados con fenol-formaldeído a una temperatura de 130 °C



FUENTE: El Autor (2018).

Luego del prensado, los paneles fueron apilados adecuadamente y se dejaron en reposo por 25 días con la finalidad que se estabilizaran, luego se controló el espesor del tablero, para posteriormente ser cortados para la obtención de las probetas (cuerpos de prueba) para realizar los ensayos físicos y mecánicos de los paneles. (FIGURA 28).

FIGURA 28 – PANELES DE BOLAINA DESPUÉS DEL PRENSADO



FUENTE: El Autor (2018)

### 3.2.11 Compactación de los paneles.

El porcentaje de compactación de los paneles elaborados con urea-formaldehído y fenol-formaldehído, se determinó en base a la fórmula 10 (ZAVALA Y VALDIVIA, 2003).

$$C = 100 - \left( \frac{E_f * 100}{E_n} \right)$$

Donde: (10)

C = Compactación (%).

E<sub>n</sub> = Suma de los espesores de las láminas que conforman el panel, antes del prensado (mm).

E<sub>f</sub> = Espesor del panel después del prensado (mm).

### 3.2.12 Preparación de las probetas para los ensayos físicos y mecánicos de los paneles.

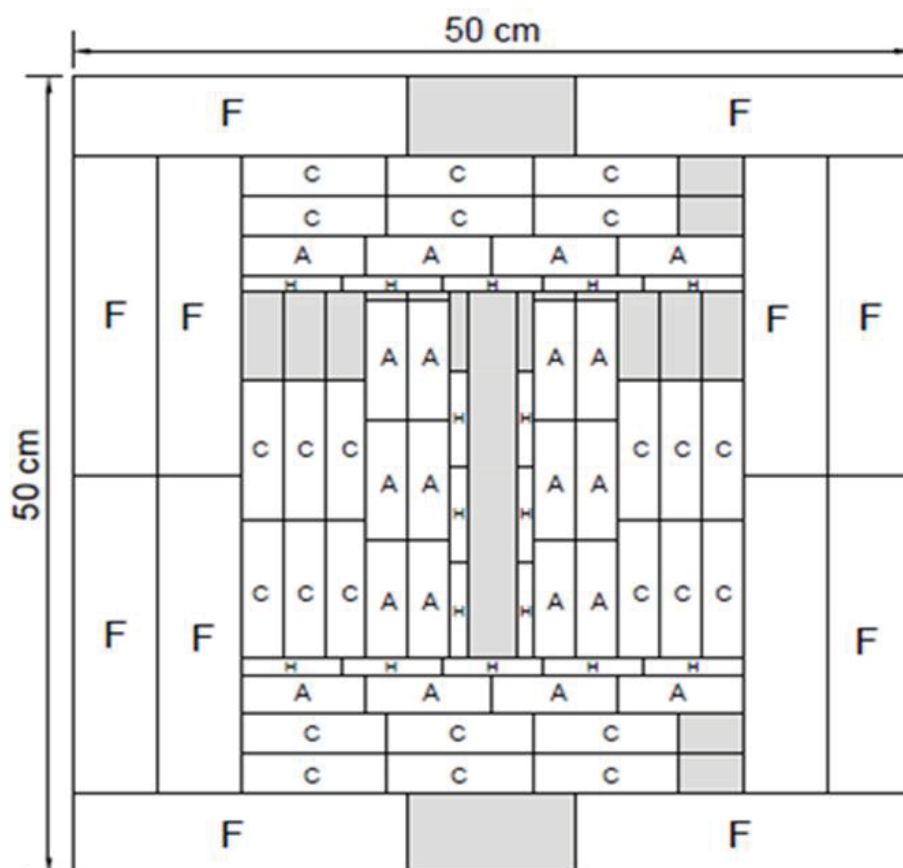
La cantidad, dimensiones y distribución de las probetas para los ensayos físicos y mecánicos se muestran en la TABLA 10 y en las FIGURAS 29, 30 y 31.

TABLA 10 – PROBETAS, POR PANEL, PARA LOS ENSAYOS FÍSICOS Y MECÁNICOS

ENSAYOS	CÓDIGO	PROBETAS POR PANEL	DIMENSIONES (mm)	NORMAS TÉCNICAS
FLEXIÓN ESTÁTICA	F	8	50 X 200	EN 310 (CEN,1993)
CIZALLAMIENTO	C	20	25 X 87	EN 314-1(CEN,2004) ; EN 314-2(CEN,1993)
ABSORCIÓN DE AGUA	A	4	75 X 25	NBR 9486/11 (ABNT, 2011C)
HINCHAMIENTO	H	8	10 X 60	NBR 9535/11 (ABNT, 2011D)

FUENTE: El autor (2019).

FIGURA 29 - PLANO DE CORTE DE LAS PROBETAS PARA LOS ENSAYOS FÍSICOS Y MECÁNICOS



FUENTE: El autor (2018).

NOTAS: F: Flexión estática perpendicular y paralela/ Massa específica aparente / Contenido de humedad; H) Hinchamiento; C) Cizallamiento de la línea de cola perpendicular y paralelo; A) Absorción de agua.

FIGURA 30 - PROBETAS PARA LOS ENSAYOS DE FLEXIÓN ESTÁTICA



FUENTE: El Autor (2018).

FIGURA 31 - PROBETA PARA EL ENSAYO DE CIZALLAMIENTO DE LA LÍNEA DE COLA



FUENTE: El Autor (2018).

Las probetas obtenidas para los ensayos físicos y mecánicos respectivos fueron colocadas en una cámara climatizada manteniendo una humedad relativa (HR) de  $65 \pm 5\%$  y una temperatura de  $20 \pm 1^\circ\text{C}$  para su acondicionamiento hasta alcanzar una humedad de equilibrio de aproximadamente 12%.

### 3.3 Ensayos físicos y mecánicos

Los ensayos físico-mecánicos de los paneles, fueron realizados en el Laboratorio de Propiedades Físicas y Mecánicas de la Madera del Departamento Académico de Industrias Forestales de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM).

### 3.3.1 Absorción de agua

La determinación del porcentaje de absorción de agua se realizó en base a lo establecido en la norma NBR 9486/11 (ABNT, 2011C).

### 3.3.2 Hinchamiento mas recuperación en espesor.

La determinación de los porcentajes de hinchamiento y de la recuperación del espesor fueron realizados de acuerdo con lo establecido en la norma NBR 9535/11 (ABNT, 2011D).

### 3.3.3 Resistencia de la línea de cola al cizallamiento.

La evaluación de la resistencia de la línea de cola a los esfuerzos de cizallamiento de los paneles se efectuó de acuerdo con lo estipulado en las normas EN 314-1 (CEN, 2004) y EN 314-2 (CEN,1993) (FIGURAS 32, 33 Y 34). Para el adhesivo a base de urea-formaldehído, el ensayo se realizó sin tratamiento de inmersión en agua (seco) y con inmersión por un período de 24 horas, a una temperatura de  $20 \pm 3$  °C, para lo cual se utilizaron 12 probetas por panel, seis en dirección paralela y seis en dirección perpendicular. Para el adhesivo a base de fenol-formaldehído el ensayo se realizó en húmedo, inmersión por 24 horas en agua a temperatura ambiente y con hervor, inmersión de las probetas por 6 horas en agua hirviendo luego una inmersión por un período de una hora en agua a temperatura ambiente.

FIGURA 32 - MÁQUINA UNIVERSAL PARA EL ENSAYO DE RESISTENCIA AL CIZALLAMIENTO



FUENTE: El autor (2018).

FIGURA 33 – ENSAYO DE CIZALLAMIENTO DE LA LÍNEA DE COLA



FUENTE: El autor (2018).

FIGURA 34 – FALLA DE LA PROBETA EN EL ENSAYO DE RESISTENCIA AL CIZALLAMIENTO DE LA LÍNEA DE COLA



FUENTE: El autor (2018).

Luego de los ensayos, las probetas fueron acondicionadas para secarlas para posteriormente evaluar el porcentaje de falla de acuerdo con la escala estipulada en la norma técnica EN 314-2 (CEN, 1993) (TABLA 11).

TABLA 11 - REQUISITOS PARA LA TENSIÓN DE RUPTURA POR CIZALLAMIENTO Y FALLA DE LA MADERA

TENSION DE RUPTURA MÉDIA DE CIZALLAMIENTO				FALLA DE LA MADERA	
fv (N/mm <sup>2</sup> )				%	
0,2	<=	fv	< 0,4	>=	80
0,4	<=	fv	< 0,6	>=	60
0,6	<=	fv	< 1,0	>=	40
1,0	<=	fv		Sin requisitos	

FUENTE: EN 314-2 (CEN,1993).

### 3.3.4 Flexión Estática

La resistencia de los paneles en flexión estática fue evaluada por módulo de ruptura (MOR) y el módulo de elasticidad (MOE), se realizó de acuerdo a lo descrito en la norma técnica EN 310 (CEN,1993), fueron ensayadas ocho probetas por panel, cuatro en dirección paralela a y cuatro en dirección perpendicular. (FIGURA 35).

FIGURA 35 - ENSAYO DE FLEXIÓN ESTÁTICA



FUENTE: El autor (2018).

### 3.4 Diseño experimental

Los resultados se sometieron a un análisis estadístico utilizando pruebas de Shapiro Wilk, Bartlett y ANOVA, en un arreglo factorial 3x2 (tres composiciones de láminas de los paneles y dos formulaciones) para cada tipo de resina úrea-formaldehído y fenol-formaldehído. Rechazada la hipótesis nula, se aplicó la prueba de Tukey para la comparación de medias con un nivel de confianza de 95%. Las variables analizadas de los paneles fueron: espesor, densidad aparente, contenido de humedad, absorción de agua, hinchamiento e hinchamiento mas recuperación del espesor, resistencia de la línea de cola al cizallamiento y MOE y MOR en flexión estática. (TABLA 12).

TABLA 12 - DISEÑO EXPERIMENTAL

TRATAMIENTO	ADHESIVO	FORMULACIÓN	TS (%)	ESPECIE	LÁMINAS	
T1	UF	A	45,9	Bolaina	5	
T2				Lupuna	5	
T3				Bol/Lup	2/3	
T4		B		35,8	Bolaina	5
T5					Lupuna	5
T6					Bol/Lup	2/3
T7	FF	B	40,0		Bolaina	5
T8					Lupuna	5
T9					Bol/Lup	2/3
T10		C		34,0	Bolaina	5
T11					Lupuna	5
T12					Bol/Lup	2/3

FUENTE: El Autor (2019).

UF: úrea-formaldehído; FF: fenol-formaldehído; TS: contenido de sólidos totales de la cola.

## 4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 CARACTERÍSTICAS ANATÓMICAS DE LA MADERA

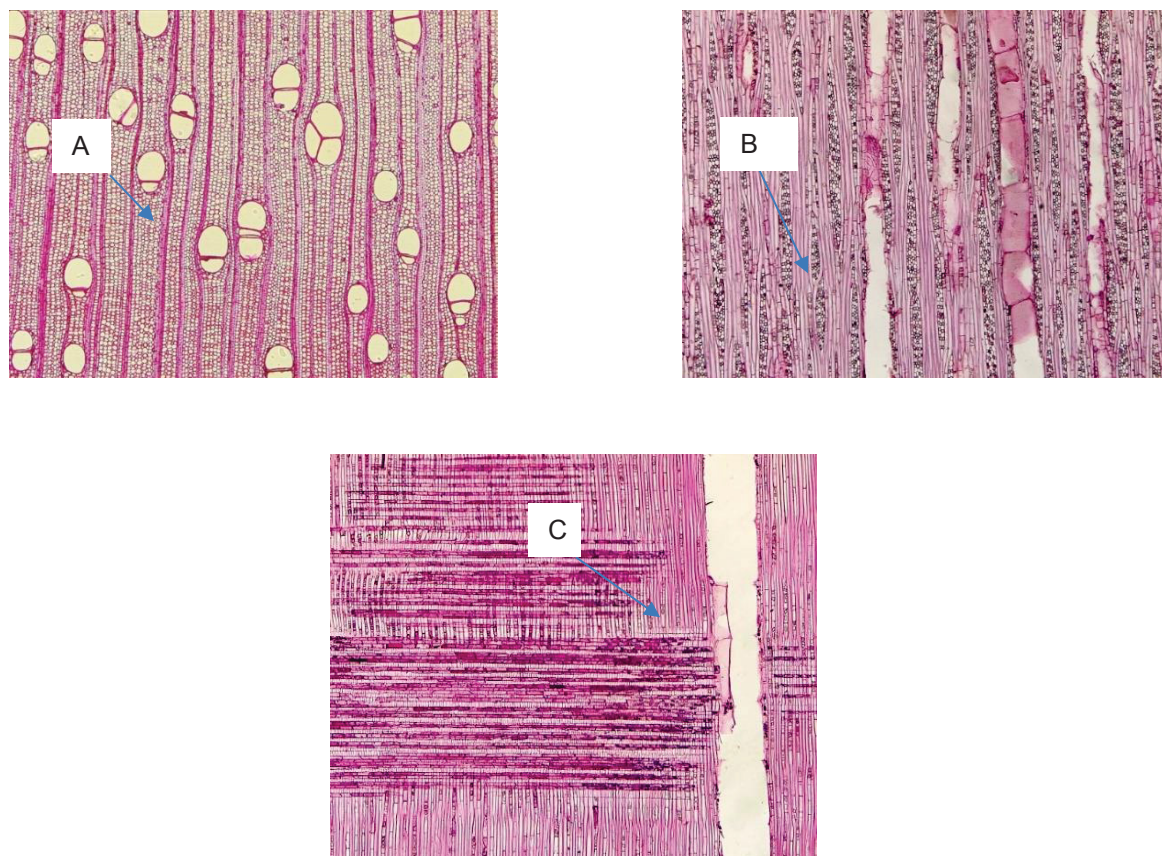
Los resultados de las características anatómicas de la madera de bolaina y lupuna se muestran en la TABLA 13 y en las FIGURAS 36 y 37.

TABLA 13 - VALORES PROMEDIO DE LAS PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS ANATÓMICAS DE LA MADERA DE BOLAINA.

CARACTERÍSTICAS ANATOMICAS	BOLAINA	ACEVEDO Y KIKATA (BOLAINA)	MIGUEL (BOLAINA)	ACEVEDO Y KIKATA (LUPUNA)
Diámetro tangencial de poros ( $\mu\text{m}$ )	133	161 a 167	133	235 a 248
N° poros/ $\text{mm}^2$	7	2 a 7	7	1 a 5
Altura promedio de radios ( $\mu\text{m}$ )	996	638 - 680	723	1052 - 1344
Longitud promedio de fibras ( $\mu\text{m}$ )	1216	484 - 830	1038	2034 - 2123
Diámetro promedio de fibras ( $\mu\text{m}$ )	24	18	24	36
Espesor pared de fibras ( $\mu\text{m}$ )	3	3	2	4

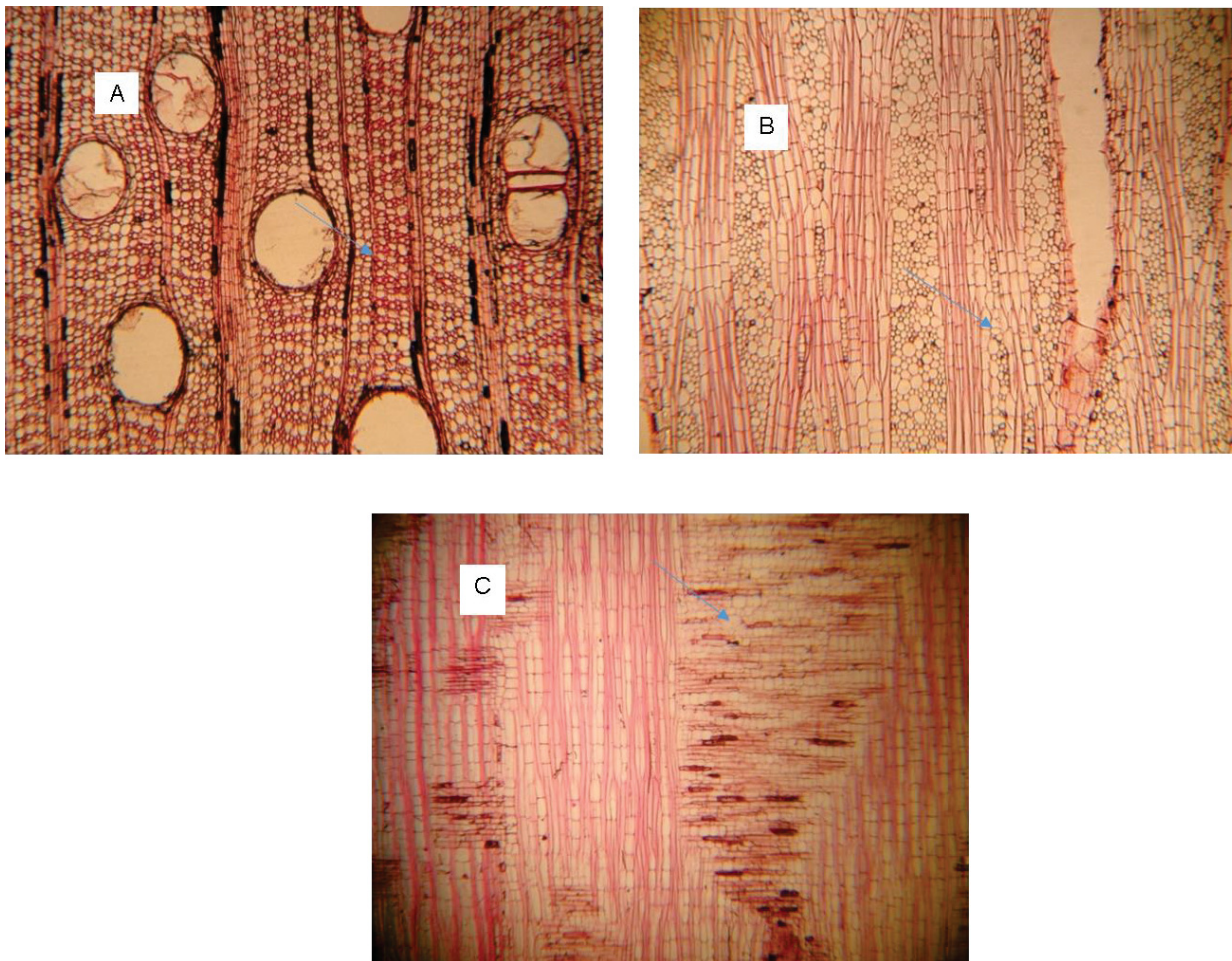
FUENTE: El autor (2019).

FIGURA 36- CORTES MICROSCOPICOS DE BOLAINA (*Guazuma crinita* Mart.), EN ORIENTACIÓN TRANSVERSAL (A), TANGENCIAL (B) Y RADIAL (C)



FUENTE: Laboratorio de Anatomía de la madera (UNALM,2019).

FIGURA 37 - CORTES MICROSCÓPICOS DE LUPUNA BLANCA (*Ceiba pentandra* (L.) Gaertn), EN ORIENTACIÓN TRANSVERSAL (A), TANGENCIAL (B) Y RADIAL (C)



FUENTE: Laboratorio de Anatomía de la madera (UNALM,2019)

Respecto al diámetro tangencial de  $133\ \mu\text{m}$ , es menor al determinado por Acevedo y Kikata (1994) de  $161$  a  $167\ \mu\text{m}$  y similar al determinado por Miguel (2013) de  $133\ \mu\text{m}$ , el número de poros  $7$ , está dentro del rango determinado por los mismos autores, de  $2$  a  $7$  y  $7$  respectivamente; los valores relacionados a la altura promedio de radios de  $996\ \mu\text{m}$  y la longitud de fibras de  $1216\ \mu\text{m}$ , son superiores a los determinados por los autores indicados. El diámetro promedio de fibras  $24\ \mu\text{m}$  y el espesor de pared de las fibras de  $3\ \mu\text{m}$ , son similares a los determinados por los autores antes mencionados. Estas variaciones se atribuyen a la procedencia de las especies estudiadas y a la edad de estas. Para el estudio anatómico realizado por Acevedo y Kikata (1994), se utilizaron árboles de bolaina de bosque nativo y para el estudio anatómico realizado por Miguel (2013) se utilizaron árboles de bolaina de plantaciones forestales de cuatro años.

## 4.2 DENSIDAD BÁSICA DE LA MADERA.

Los resultados de densidad básica de la madera se muestran en la TABLA 14, la densidad básica promedio para *Guazuma crinita* Mart. fue de 0,42 g/cm<sup>3</sup>, valor similar al obtenido por Acevedo y Kikata de (1994) de 0,41 g/cm<sup>3</sup> y Miguel et al. (2019) de y 0,42 g/cm<sup>3</sup>. La densidad básica promedio para *Ceiba pentandra* fue de 0,35 g/cm<sup>3</sup>, fue superior al determinado por Aróstegui (1982) de 0,28 g/cm<sup>3</sup>. Los valores promedios de densidad básica de *Guazuma crinita* Mart. se encuentran dentro del rango de 0,38 a 0,70 g/cm<sup>3</sup> recomendado por Almeida et al. (2004). A partir de los valores de densidad básica, podemos afirmar que es posible que no existan problemas en la formación de la línea de cola, generando una línea de cola excesivamente débil o poco permeable. Esto se puede corroborar de acuerdo con lo descrito por Marra (1992), quien menciona, que las especies de alta densidad, debido a sus paredes celulares más gruesas y lúmenes más pequeños, tienden a limitar la movilidad del adhesivo, generando una línea de cola más frágil. Sin embargo, las especies de baja densidad promueven una absorción excesiva, lo que también genera una línea de cola de bajo rendimiento. Por consiguiente, la viscosidad del adhesivo tiene que estar en función de la densidad de la madera.

TABLA 14 - DENSIDAD BÁSICA MEDIA DE LAS MADERA DE BOLAINA Y LUPUNA

PROPIEDAD	BOLAINA	LUPUNA
DENSIDAD BÁSICA (g/cm <sup>3</sup> )	0,42 (6,88)	0,35 (7,10)

FUENTE: El autor (2019).

Valores entre paréntesis se refieren al coeficiente de variación

## 4.3 CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DE LA MADERA

Los resultados de las características químicas de la madera se muestran en la TABLA 15, para bolaina, el valor medio de extractivos totales, de 4,20%, se encuentra dentro del rango de 1 a 10% recomendado por Iwakiri (2005), dentro del rango determinado por Bueno (1990) de 1,0 a 7,54% y superior al determinado por Miguel et al. (2019) de 1,80% para madera de bolaina de cuatro años. El valor medio de pH fue de 5,88 y el porcentaje de cenizas de 0,41%, valores que encuentra dentro del rango de 3 a 6 de pH y 0,1 a 0,5% de cenizas, mencionados por Iwakiri (2005). En

lupuna, el porcentaje de extractivos obtenidos de 3,25% y el pH de 5,99 se encuentran dentro de los rangos recomendados por Iwakiri (2005).

TABLA 15 - CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DE LAS MADERAS DE BOLAINA Y LUPUNA.

COMPONENTE		BOLAINA	LUPUNA
EXTRACTIVOS	%	4,20 (1,47)	3,25 (0,54)
pH		5,88 (1,45)	5,99 (0,25)
CENIZAS	%	0,41 (0,34)	4,53 (4,02)

FUENTE: El autor (2019).

Valor entre paréntesis se refiere al coeficiente de variación

Respecto a los valores de las características químicas de la madera de Lupuna, el porcentaje de extractivos de 3,25% y el pH de 5,99 se encuentran dentro de los rangos descritos por los respectivos autores mencionados anteriormente, con excepción del porcentaje de cenizas de 4,53% que es superior a los valores de 0,1 a 0,5% recomendado por Iwakiri (2005), para las especies utilizadas en la fabricación de paneles compensados, lo cual si bien es cierto no afecta directamente la calidad de unión adhesiva, puede afectar el pH y las características de maquinado de la madera, debido a la presencia de minerales como el sílice y su efecto sobre el desgaste excesivo de los elementos de corte, básicamente sierras y cuchillas.

Los valores promedios del porcentaje de extractivos y de pH, indican también que, es muy probable, que no se presenten problemas de interacción entre el adhesivo y la madera, considerando que según Marra (1992), estos componentes pueden inhibir las reacciones químicas de polimerización del adhesivo, impidiendo la fluidez, humectabilidad y absorción, perjudicando así el desarrollo de resistencia y cohesión de la línea de cola. Además, cuando una especie tiene un alto contenido de extractivos, se debe tener cuidado, especialmente durante el secado de las láminas, en las que según Iwakiri (2005), dependiendo de las condiciones de secado, puede ocurrir migración y concentración excesiva de extractivos en la superficie formando la llamada superficie inactiva o contaminada, que bloquea el contacto adhesivo-madera.

#### 4.4 RENDIMIENTO DE LAMINADO

En la TABLA 16, se presentan los valores obtenidos en la determinación del rendimiento de la madera rolliza de bolaina en la producción de láminas por corte rotativo.

TABLA 16 - RENDIMIENTO DE LAMINADO POR DESENLLO DE BOLAINA

ESPECIE	DM	CON	RLSC	RP	RRD	RV	CS	RT
	(cm)	(cm/m)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
BOLAINA	16,57	1,00	32,71	43,67	8,45	10,00	5,17	67,29

FUENTE: El autor (2019).

NOTAS: DM: diámetro médio; CON: conicidad; RLSC: Rendimiento de laminado sin corteza; RP: Resíduos por el polín; RRD: Resíduos por redondeo; RV: Resíduos varios; CS: Contracción tangencial por secado; RT: Resíduo total.

Las trozas de bolaina utilizadas en el estudio de rendimiento presentaron un diámetro promedio sin corteza de 16,57 cm, una conicidad promedio de 1,00 cm/m, lo que permite considerar como un fuste aproximadamente cilíndrico y recto, valor aproximado al determinado por Hornburg (2012), citado por Machado (2016), quien, al evaluar la calidad de las trozas de seis especies de eucalipto, determinó un valor promedio de conicidad de 0,90 cm/m.

El rendimiento promedio de la madera de bolaina fue de 32,71%, lo cual genera un elevado porcentaje de resíduos totales que en promedio fue de 67,29%, de los cuales 43,67% corresponde al “polín” (rolo), el 8,45% a los resíduos por redondeo, el 10,0% de resíduos corresponden a las pérdidas por manipuleo, guillotinado y el 5,17% es la pérdida por contracción tangencial de las láminas después del secado. El mayor resíduo de laminado corresponde al “polín” o “rolo” (FIGURAS 38 y 39), porque tuvo que ser retirado con un diámetro promedio de 11,5 cm, debido a la limitante del diámetro de la corona del torno que tenía un diámetro promedio de 10,5 cm., que era la corona de menor diámetro que se disponía.

FIGURA 38 - POLINES (ROLOS) LUEGO DEL DESENLLO DE LAS TROZAS DE BOLAINA



FUENTE: El autor (2017).

FIGURA 39 - CORONAS DE 10,5 CM DE DIÁMETRO DEL TORNO DESENLLO



FUENTE: El autor (2017).

Los residuos de láminas húmedas por redondeo y por la presencia de defectos se debieron fundamentalmente a la presencia de nudos, en las trozas de se debobinaron. (FIGURA 40, 41y 42).

FIGURA 40 - TROZA DE BOLAINA CON PRESENCIA DE NUDOS.



FUENTE: El autor (2017).

FIGURA 41 - TROZA DE BOLAINA CON PRESENCIA DE NUDOS



FUENTE: El autor (2017).

FIGURA 42 - LÁMINAS DE BOLAINA CON PRESENCIA DE NUDOS



FUENTE: El autor (2017).

Los residuos de láminas secas se originaron por los anchos irregulares que presentaron las láminas por lo que se las tenía que dimensionar a anchos uniformes de 60 cm o submúltiplos de 60 cm (FIGURAS 43, 44 Y 45), lo que permitió realizar un adecuado control de la producción de las láminas obtenidas de cada una de las trozas laminadas.

FIGURA 43 - LÁMINAS DE BOLAINA SECAS DE ANCHOS IRREGULARES



FUENTE: El autor (2017).

FIGURA 44 – DIMENSIONADO DE LAS LÁMINAS DE BOLAINA



FUENTE: El autor (2017).

FIGURA 45 – CONTROL DE LA PRODUCCIÓN DEL LAMINADO DE BOLAINA.



FUENTE: El autor (2017).

El rendimiento promedio de laminado para la madera de bolaina fue de 32,71% que es considerado bajo respecto a los resultados obtenidos por otros investigadores para especies de diámetros menores. Machado (2016) obtuvo un rendimiento de 80,3% para trozas de paricá (*Schizolobium parahyba amazonicum*) y de 46,7% para las trozas de embaúba (*Cecrópia palmata* Willd.). Modes et al. (2014), citado por MACHADO (2016) determinaron un rendimiento promedio de 71,83% para trozas de la misma especie paricá (*Schizolobium parahyba amazonicum*).

El bajo rendimiento obtenido de las trozas de bolaina al ser laminadas por desenrollo se puede atribuir al pequeño diámetro de las trozas, haber sido laminadas en un torno que no fue el adecuado para laminar trozas de diámetros menores, lo cual se refleja en el elevado porcentaje de pérdidas por el polín (rolo) que en promedio fue de 43,67% y a la elevada presencia de nudos en las trozas por proceder de plantaciones no manejadas, por éstas razones se estaría en desventaja compar los valores de rendimiento con otros trabajos de investigación que utilizaron tornos para laminar trozas de diámetros menores y que generalmente, las especies proceden de plantaciones forestales adecuadamente manejadas silviculturalmente.

#### 4.5 CLASIFICACIÓN DE LÁMINAS

El rendimiento y la calidad de las láminas están directamente influenciados por la calidad de las trozas y la tecnología de procesamiento. Los valores promedios obtenidos para las láminas de bolaina de calidad A fue de 28,57%, para la calidad B de 28,57% y para la calidad C de 42,86 %. Las láminas de calidad A se utilizaron para

las caras de los paneles, las de calidad B para las tras-caras y las de calidad C para las láminas interiores del panel (FIGURAS 46, 47 Y 48). Las evaluaciones de la calidad de las láminas demuestran la presencia de nudos en el 85% de las láminas, lo que demostraría que los árboles de estas plantaciones experimentales no fueron sometidos a procedimientos de poda.

FIGURA 46 - LÁMINA DE BOLAINA DE CALIDAD "A"



FUENTE: El autor (2018).

FIGURA 47 - LÁMINA DE BOLAINA DE CALIDAD "B"



FUENTE: El autor (2018).

FIGURA 48 - LÁMINA DE BOLAINA DE CALIDAD "C"



FUENTE: El autor (2018).

## 4.6 PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS PANELES

### 4.6.1 Espesor, densidad aparente y contenido de humedad de los paneles encolados con urea-formaldehído (UF) y fenol-formaldehído (FF).

Los valores medios de espesor, densidad aparente, contenido de humedad de los paneles producidos con urea-formaldehído se muestran en la TABLAS 17, 18 y en la FIGURAS 49, 50 y 51 y para los paneles encolados con fenol-formaldehído se muestran en las Tablas 17, 19 y en las FIGURAS 52, 53 y 54.

TABLA 17 - VALORES MEDIOS DE ESPESOR, DENSIDAD Y CONTENIDO DE HUMEDAD DE LOS PANELES ENCOLADOS CON UREA- FORMALDEHÍDO (UF) Y FENOL- FORMALDEHÍDO (FF)

TRAT.	ADHESIVO	FORMULACIÓN	ESPECIE	ESPESOR (mm)	DENSIDAD (g/cm <sup>3</sup> )	CH (%)
T1	UF	A	Bolaina	10,18	0,58	13,88
T2			Lupuna	9,40	0,53	14,23
T3			Bol/Lup	10,40	0,56	13,75
T4		B	Bolaina	10,76	0,58	13,63
T5			Lupuna	9,59	0,51	11,71
T6			Bol/Lup	10,30	0,56	13,71
T7	FF	B	Bolaina	9,77	0,59	13,13
T8			Lupuna	8,20	0,56	13,94
T9			Bol/Lup	8,44	0,59	13,54
T10		C	Bolaina	9,90	0,58	11,29
T11			Lupuna	8,44	0,55	12,00
T12			Bol/Lup	9,17	0,54	10,58

FUENTE: El autor (2019).

A y B: formulaciones con urea-formaldehído (UF); B y C: formulaciones con fenol-formaldehído (FF); CH: contenido de humedad.

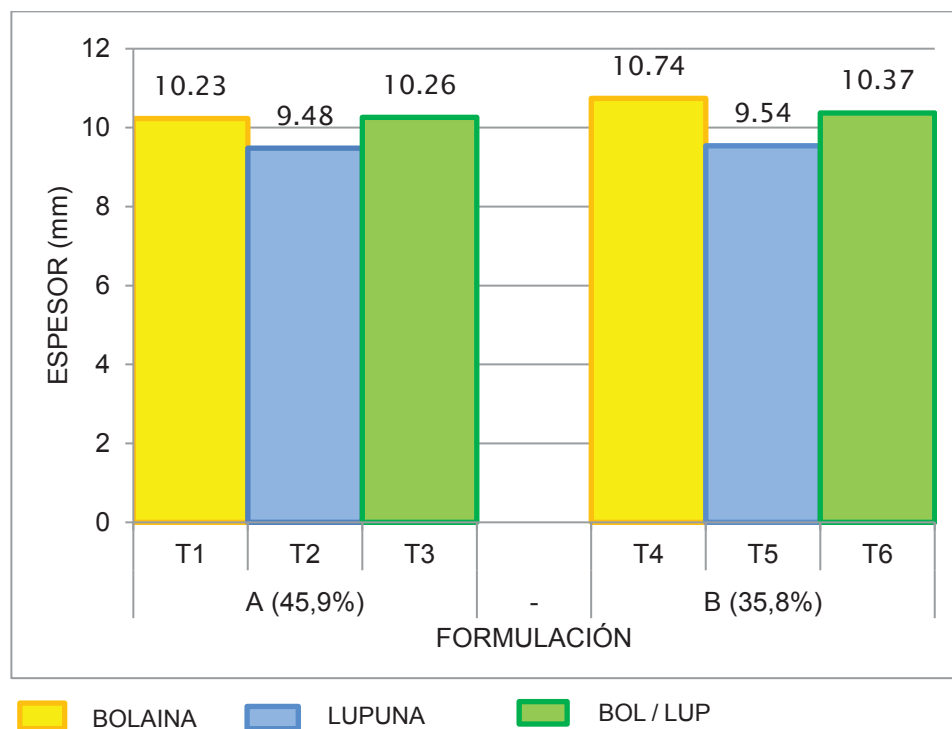
TABLA 18 - RESULTADOS DE ESPESOR, DENSIDAD Y CONTENIDO DE HUMEDAD, DE LOS PANELES ENCOLADOS CON ÚREA -FORMALDEHÍDO (UF)

TRATAMIENTO	E (mm)	Dap (g.cm <sup>-3</sup> )	CH (%)
A	9,99a <sup>ns</sup> (5,30)	0,56a <sup>ns</sup> (4,51)	13,95a (4,77)
B	10,22a <sup>ns</sup> (5,42)	0,55a <sup>ns</sup> (6,17)	13,01b (8,68)
T1. UF/A/BO	10,18a,b,c (2,82)	0,58a (3,22)	13,88a (3,25)
T2. UF/A/LU	9,40c (2,87)	0,53b,c (3,42)	14,23a (5,52)
T3. UF/A/BO-LU	10,40a (3,63)	0,56a,b (0,15)	13,75a (6,36)
T4. UF/B/BO	10,76a (3,28)	0,58a (0,93)	13,63a (6,62)
T5. UF/B/LU	9,59b,c (1,33)	0,51c (0,35)	11,71b (4,81)
T6. UF/B/BO-LU	10,30a,b (2,28)	0,56a,b (2,69)	13,71a (2,63)

FUENTE: El autor (2019).

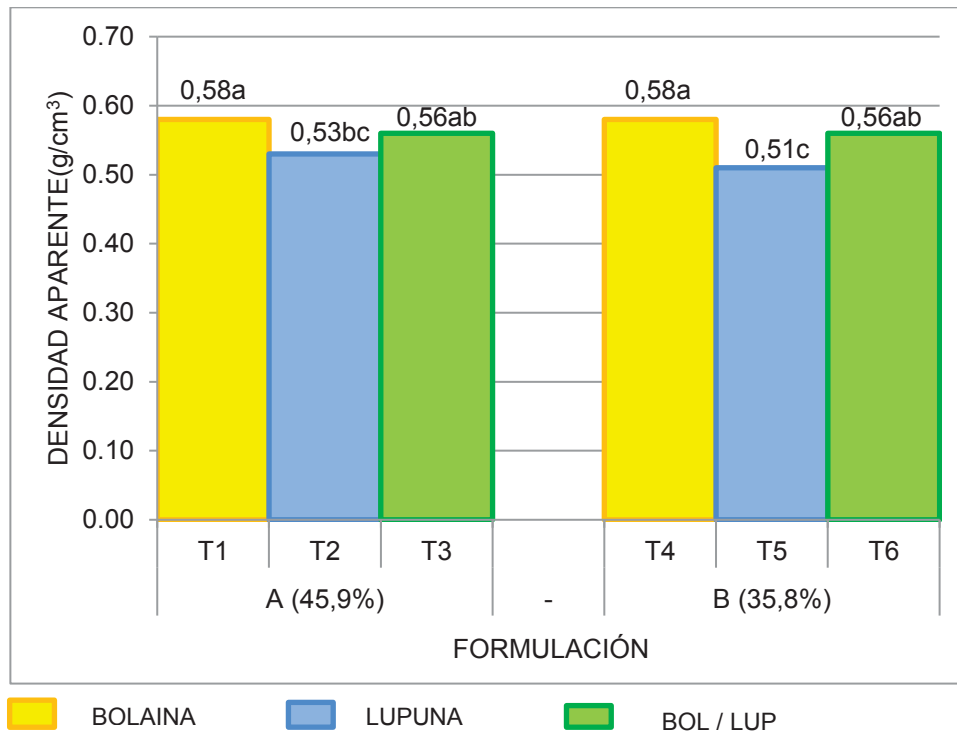
A y B: formulaciones con urea-formaldehído; E: espesor; Dap: densidad aparente; CH: contenido de humedad. Las medias seguidas de una misma letra en una misma columna son estadísticamente iguales, por la prueba de Tukey al 95% de probabilidad. Valores entre paréntesis se refieren al coeficiente de variación.

FIGURA 49 – ESPESOR DE LOS PANELES ENCOLADOS CON UF



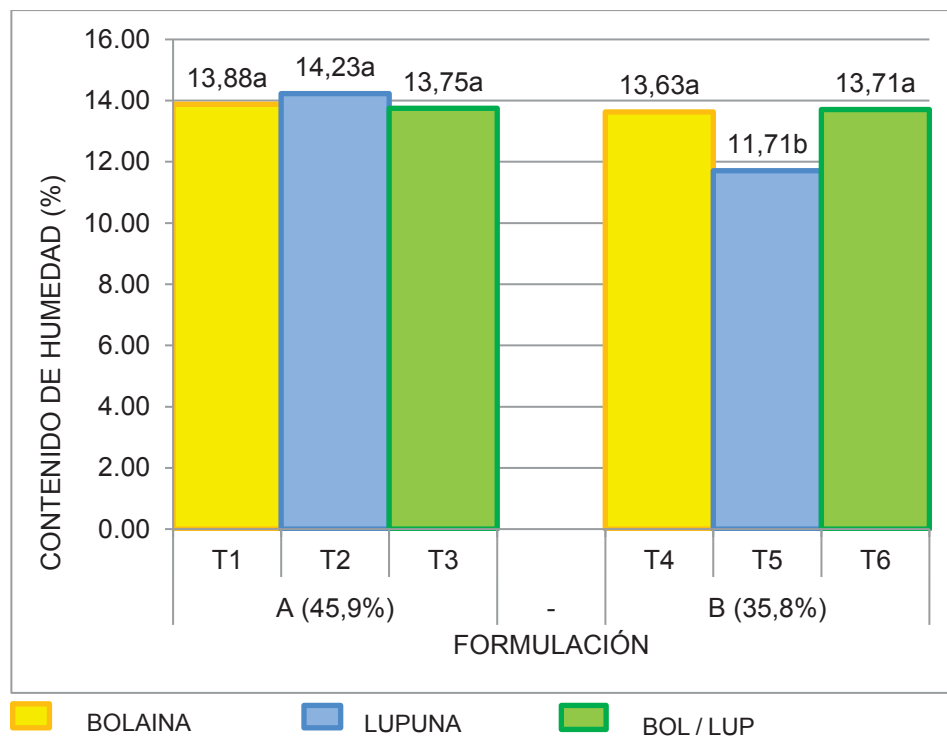
FUENTE: El autor (2020).

FIGURA 50 – DENSIDAD APARENTE DE LOS PANELES ENCOLADOS CON UF



FUENTE: El autor (2020).

FIGURA 51 – CONTENIDO DE HUMEDAD DE LOS PANELES ENCOLADOS CON UF



FUENTE: El autor (2020).

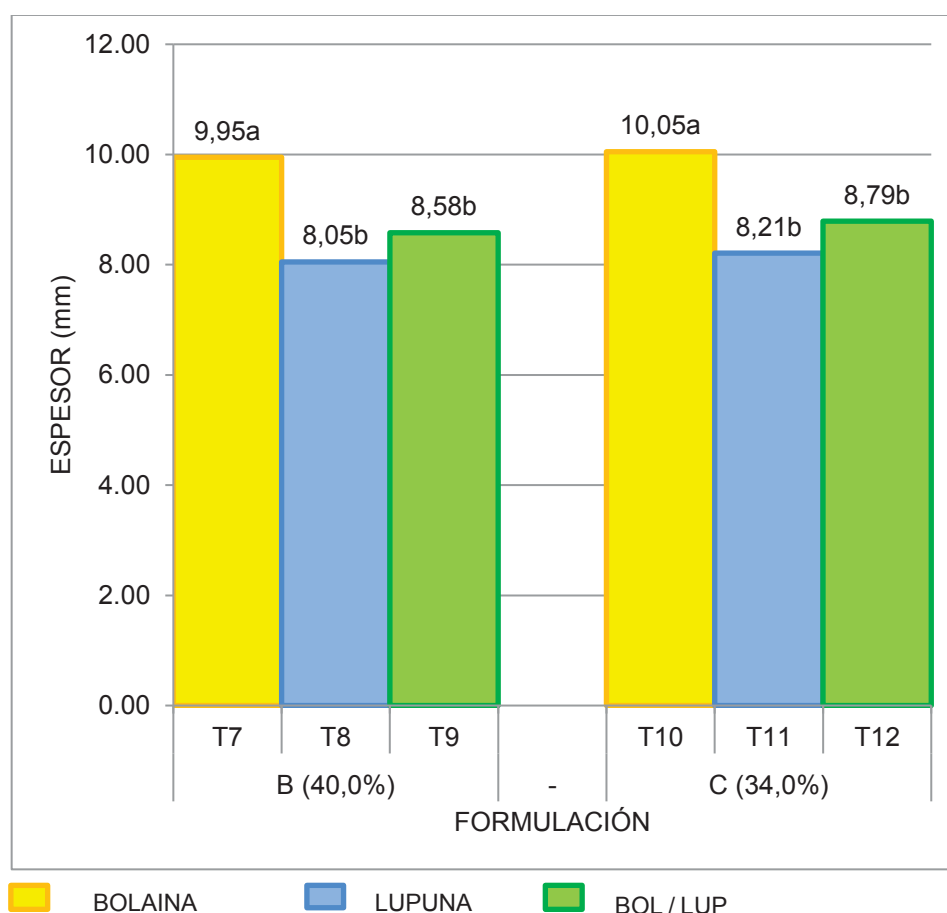
TABLA 19 - RESULTADOS MEDIOS DE ESPESOR, DENSIDAD Y CONTENIDO DE HUMEDAD DE LOS PANELES ENCOLADOS CON FENOL-FORMALDEHÍDO (FF)

TRATAMIENTO	E (mm)	Dap (g.cm <sup>-3</sup> )	CH (%)
B	8,81a <sup>ns</sup> (8,58)	0,58a <sup>ns</sup> (4,54)	13,54a (6,90)
C	9,17a <sup>ns</sup> (8,22)	0,56a <sup>ns</sup> (5,49)	11,29b (6,74)
FF/B/BO	9,77 a (1,40)	0,59 a (6,66)	13,13a,b (12,60)
FF/B/LU	8,20 b (3,64)	0,56 a (3,19)	13,94a (2,42)
FF/B/BO-LU	8,44 b (2,02)	0,59 a (4,70)	13,54a (2,77)
FF/C/BO	9,90 a (5,65)	0,58 a (3,93)	11,29b,c (3,38)
FF/C/LU	8,44 b (4,84)	0,55 a (5,25)	12,00a,b,c (4,81)
FF/C/BO-LU	9,17a,b (4,90)	0,54 a (6,17)	10,58 c (5,46)

FUENTE: El autor (2019).

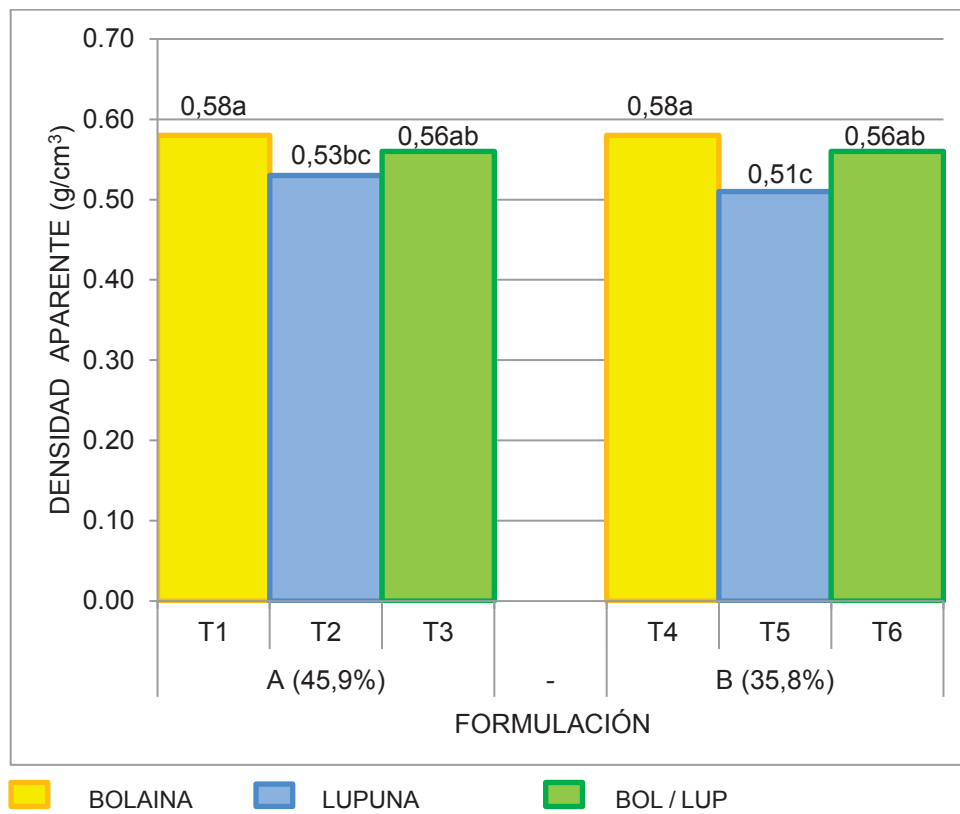
B y C: formulaciones con fenol-formaldehído; E: espesor; Dap: densidad aparente; CH: contenido de humedad. Las medias seguidas de una misma letra en una misma columna son estadísticamente iguales, por la prueba de Tukey al 95% de probabilidad. Valores entre paréntesis se refieren al coeficiente de variación.

FIGURA 52 – ESPESOR DE LOS PANELES ENCOLADOS CON FF



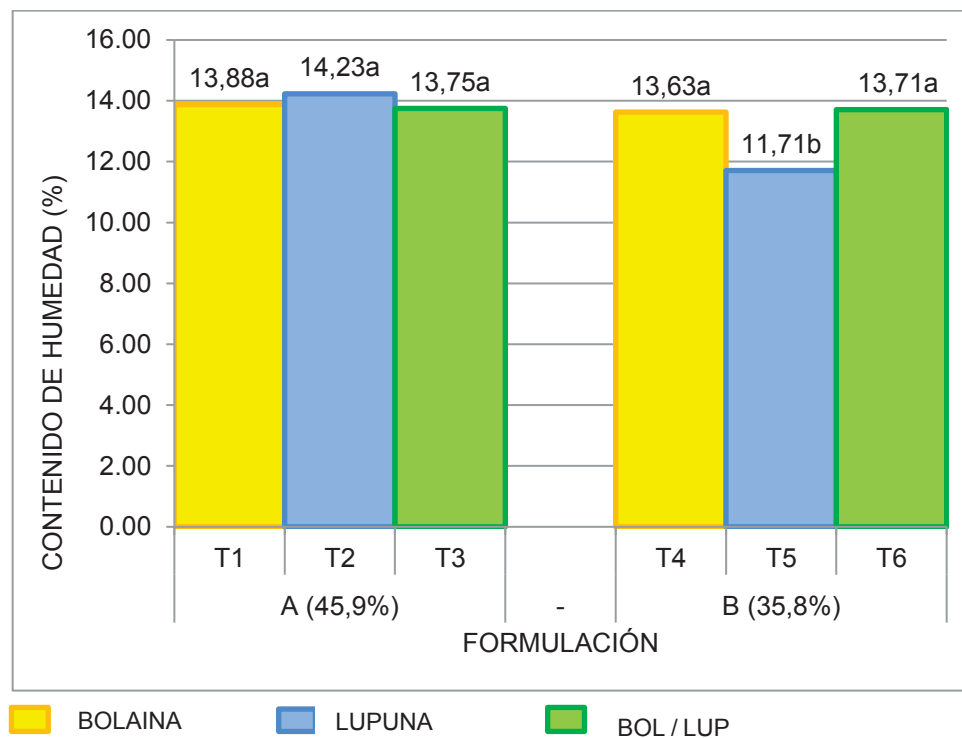
FUENTE: El autor (2020).

FIGURA 53 – DENSIDAD APARENTE DE LOS PANELES ENCOLADOS CON FF



FUENTE: El autor (2020).

FIGURA 54 – CONTENIDO DE HUMEDAD DE LOS PANELES ENCOLADOS CON FF



FUENTE: El autor (2020).

Los resultados obtenidos a partir del análisis de variancia en arreglo factorial, demuestran que el efecto formulación y la interacción de las dos variables formulación y especie utilizada en la composición del panel no ejercen influencia estadística significativa sobre los valores medios de espesor y densidad aparente.

El promedio de espesor para los paneles encolados con urea-formaldehído varía de 9,40 a 10,76 mm y para los paneles encolados con fenol-formaldehído de 8,20 a 9,77 mm, observando que los mayores valores corresponden a los paneles de bolaina y bolaina/lupuna y los menores valores a los paneles de lupuna, lo cual se atribuir a la utilización de la misma presión específica para especies de densidades básicas diferentes, 0,42 g/cm<sup>3</sup> para bolaina y 0,35 g/cm<sup>3</sup> para lupuna.

Los resultados de densidad aparente para los paneles encolados con urea-formaldehído varían de 0,51 a 0,58 g/cm<sup>3</sup> con un porcentaje de compactación de 18,43% y 16,15% y de 0,54 a 0,59 g/cm<sup>3</sup> con una compactación de 24,00% y 26,27%, respectivamente en los paneles encolados con fenol-formaldehído. Para paneles de pino 12 mm y de cinco capas la (ABIMCI, 2007), establece un valor mínimo de densidad de 0,476 g/cm<sup>3</sup>, todos los tableros superaron este valor mínimo de densidad aparente. Así mismo es importante resaltar que el incremento promedio de la densidad de los paneles encolados con urea-formaldehído respecto a la densidad de la madera fue para bolaina de 23,6% y para lupuna de 36,4%; y para los paneles encolados con fenol-formaldehído el incremento de densidad fue para bolaina de 26,3% y para lupuna de 38,6%, lo cual se explica por la utilización de la misma presión específica de, 0,6 MPa para los paneles encolados con urea-formaldehído y 1,0 MPa para los paneles encolados con fenol-formaldehído, para maderas de densidades básicas diferentes, lo cual explica el menor incremento de bolaina respecto a lupuna por su mayor densidad básica y por lo tanto su menor porcentaje de compactación.

Los resultados de contenido de humedad variaron de 11,71 a 14,23% para los paneles encolados con urea-formaldehído y de 10,58 a 13,94 % para los paneles con fenol-formaldehído. Con excepción de T5 (UF) y T10, T11 y T12 (FF), todos los paneles encolados con urea-formaldehído y fenol-formaldehído, fueron superiores al valor mínimo de 12% (ABIMCI, 2007).

#### 4.6.2 Absorción, hinchamiento e hinchamiento mas recuperación en espesor de los paneles encolados con urea-formaldehído (UF) y fenol-formaldehído (FF).

Los valores medios de absorción, hinchamiento e hinchamiento más recuperación en espesor de los paneles producidos con urea-formaldehído se muestran en la TABLAS 20, 21 y en la FIGURAS 55, 56 y 57 y para los paneles encolados con fenol-formaldehído se muestran en las TABLAS 20, 22 y en las FIGURAS 58, 59 y 60.

TABLA 20 - VALORES MEDIOS DE ABSORCIÓN DE AGUA, HINCHAMIENTO E HINCHAMIENTO MAS RECUPERACIÓN EN ESPESOR DE LOS PANELES ENCOLADOS CON UF Y FF

TRATAMIENTO	ADHES.	FORM.	ESPECIE	AA (%)	H (%)	HR (%)
T1			BOL	31,18	7,18	2,59
T2			LUP	45,11	9,80	2,05
T3	UF	A	BOL/LUP	31,19	9,24	2,84
T4			BOL	27,42	7,38	2,40
T5			LUP	49,60	10,28	2,57
T6		B	BOL/LUP	35,17	7,99	1,64
T7			BOL	34,53	6,59	2,24
T8		B	LUP	60,53	22,37	10,24
T9	FF		BOL/LUP	45,72	11,48	4,46
T10		BOL	34,00	7,10	1,51	
T11		C	LUP	60,94	14,00	6,46
T12			BOL/LUP	49,43	11,65	5,46
CV (%)				7,79	14,83	45,17

FUENTE: El autor (2019).

NOTAS: A y B: formulaciones con urea-formaldehído (UF); B y C: formulaciones con fenol-formaldehído (FF); AA: absorción; H: Hinchamiento; HR: hinchamiento más recuperación en espesor; CV: coeficiente de variación.

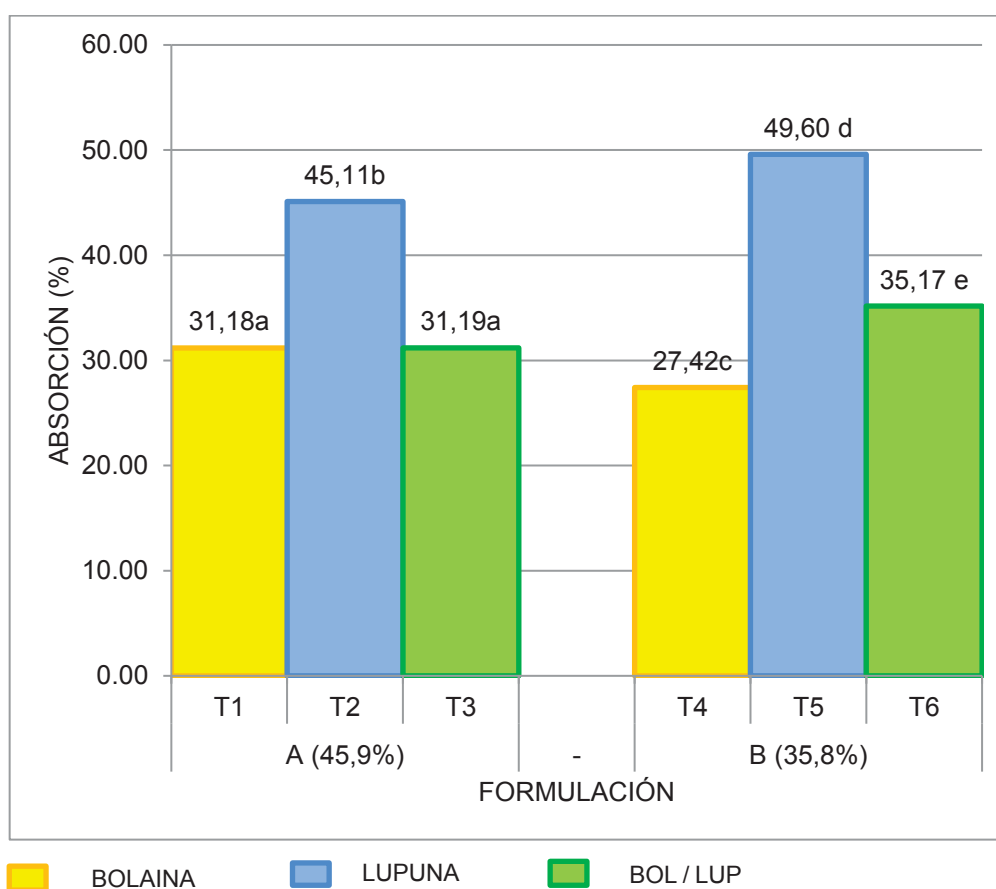
TABLA 21 – VALORES MEDIOS DE ABSORCIÓN DE AGUA, HINCHAMIENTO E HINCHAMIENTO MÁS RECUPERACIÓN EN ESPESOR DE LOS PANELES ENCOLADOS CON UREA-FORMALDEHÍDO

TRATAMIENTO	AA (mm)	H (%)	HR (%)
A	35,68 a <sup>ns</sup> (21,86)	8,74 a <sup>ns</sup> (36,48)	2,49 a <sup>ns</sup> (108,40)
B	37,40 a <sup>ns</sup> (28,63)	8,55 a <sup>ns</sup> (23,53)	2,20 a <sup>ns</sup> (91,98)
T1. UF/A/BO	31,18 a (8,70)	7,18 a (24,14)	2,59 a (76,34)
T2. UF/A/LU	45,11 b (13,30)	9,80 b (19,81)	2,05 a (83,14)
T3. UF/A/BO-LU	31,19 a (11,35)	9,24 c (52,12)	2,84 a (147,76)
T4. UF/B/BO	27,42 c (11,62)	7,38 a (20,49)	2,40 a (90,79)
T5. UF/B/LU	49,60 d (15,25)	10,28 b (23,16)	2,57 a (112,09)
T6. UF/B/BO/LU	35,17 e (13,30)	7,99 c (5,44)	1,64 a (35,62)

FUENTE: El autor (2019).

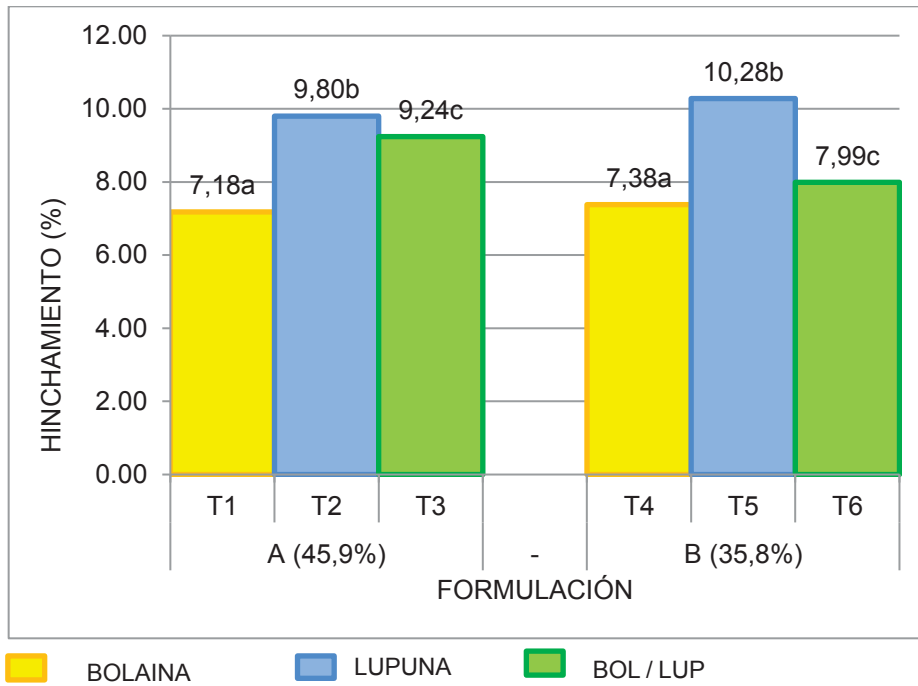
NOTAS: A y B: formulaciones con urea-formaldehído (UF): AA: absorción de agua; H: Hinchamiento; HR: hinchamiento más recuperación en espesor. Las medias seguidas de una misma letra en una misma columna son estadísticamente iguales, por la prueba de Tukey al 95% de probabilidad. Valores entre paréntesis se refieren al coeficiente de variación.

FIGURA 55 – ABSORCIÓN DE AGUA DE LOS PANELES ENCOLADOS CON UF



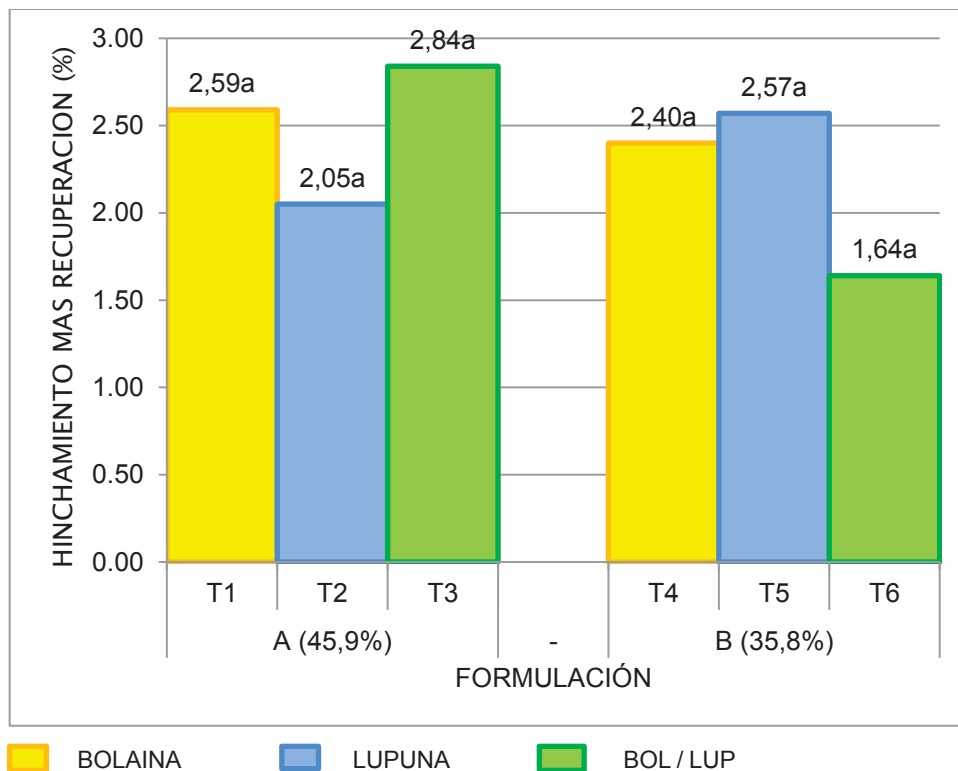
FUENTE: El autor (2020).

FIGURA 56 – HINCHAMIENTO DE LOS PANELES ENCOLADOS CON UF



FUENTE: El autor (2020).

FIGURA 57 – HINCHAMIENTO MAS RECUPERACIÓN EN ESPESOR DE LOS PANELES ENCOLDOS CON UF



FUENTE: El autor (2020).

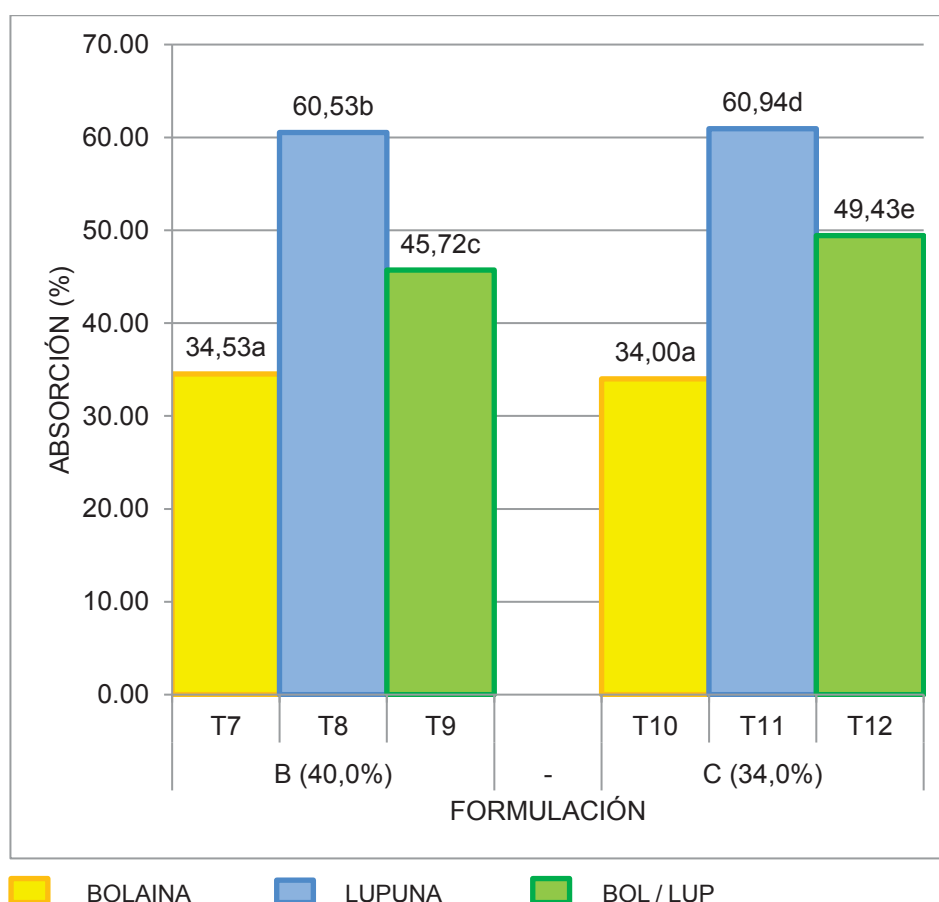
TABLA 22 – VALORES DE ABSORCIÓN DE AGUA, HINCHAMIENTO E HINCHAMIENTO MÁS RECUPERACIÓN EN ESPESOR PARA LOS PANELES ENCOLADOS CON FENOL FORMALDEHÍDO (FF)

TRATAMIENTO	AA (mm)	H (%)	IR (%)
B	43,95 a (29,23)	13,48 a <sup>ns</sup> (72,28)	5,65 a <sup>ns</sup> (78,17)
C	50,15 b (26,25)	10,92 a <sup>ns</sup> (30,25)	4,48 a <sup>ns</sup> (62,09)
T7. FF/B/BO	34,53 a (13,94)	6,59 a (15,83)	2,24 a (33,48)
T8. FF/B/LU	60,53 b (21,79)	22,37 b (55,03)	10,24 b (40,40)
T9. FF/B/BO-LU	45,72 c (22,63)	11,48 c (31,83)	4,46 c (62,16)
T10. FF/C/BO	34,00 a (14,37)	7,10 a (14,21)	1,51 d (69,86)
T11. FF/C/LU	60,94 d (13,24)	14,0 d (13,58)	6,46 e (33,35)
T12. FF/C/BO-LU	49,43 e (15,45)	11,65 c (14,69)	5,46 f (36,97)

FUENTE: El autor (2019)

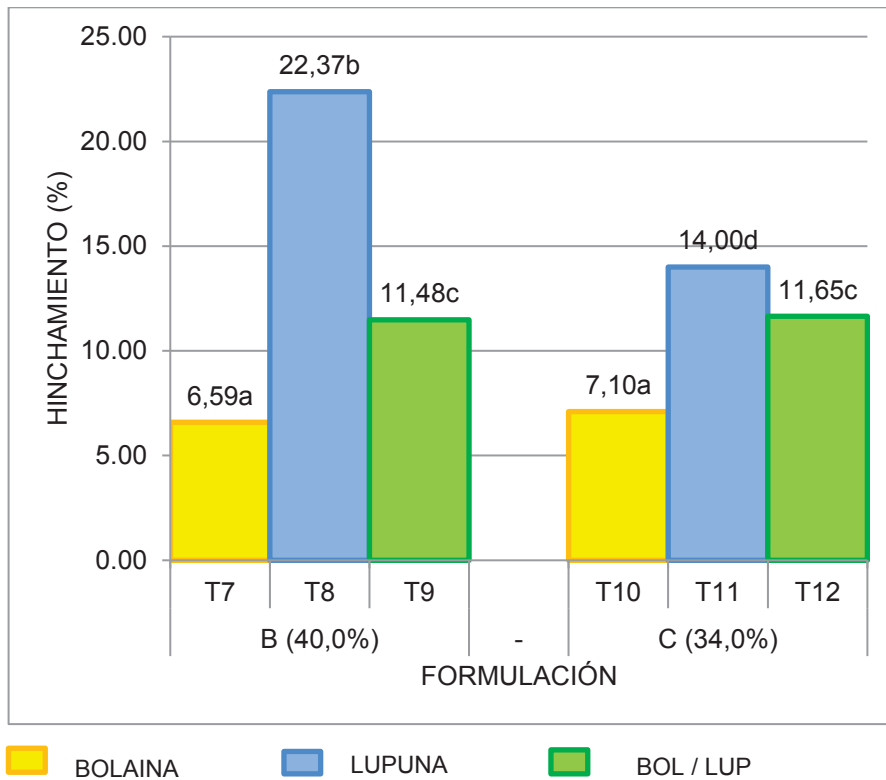
NOTAS: B y C: formulaciones con fenol-formaldehído (FF): AA: absorción; H: Hinchamiento; HR: hinchamiento más recuperación en espesor. Las medias seguidas de una misma letra en una misma columna son estadísticamente iguales, por la prueba de Tukey al 95% de probabilidad. Valores entre paréntesis se refieren al coeficiente de variación.

FIGURA 58 – ABSORCIÓN DE AGUA DE LOS PANELES ENCOLADOS CON FF



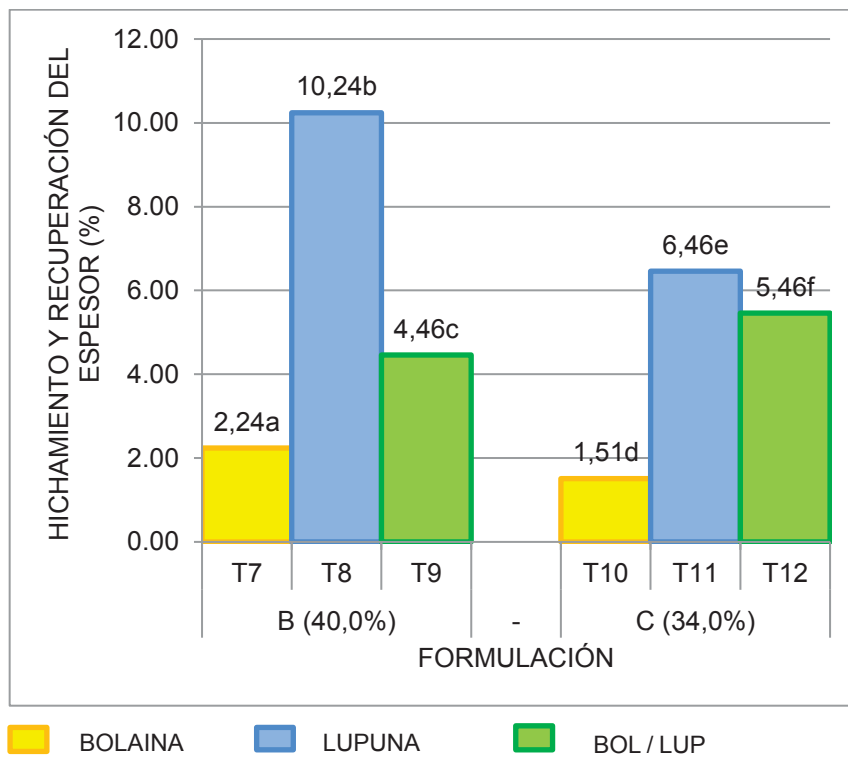
FUENTE: El autor (2020).

FIGURA 59 – HINCHAMIENTO DE LOS PANELES ENCOLADOS CON FF



FUENTE: El autor (2020).

FIGURA 60 – HINCHAMIENTO MAS RECUPERACIÓN EN ESPESOR DE LOS PANELES ENCOLADOS CON FF



FUENTE: El autor (2020).

Los resultados obtenidos a partir del análisis de variancia en arreglo factorial, demuestran que el efecto formulación, no ejercen influencia estadística significativa sobre los valores medios de absorción, hinchamiento e hinchamiento más recuperación en espesor.

La interacción formulación y especie utilizada en la conformación de los paneles, si influye sobre los resultados de absorción e hinchamiento y no influyen en el hinchamiento más recuperación del espesor. Los valores medios de absorción para los paneles encolados con urea-formaldehído variaron de 27,42 a 49,60% y para los paneles encolados con fenol-formaldehído de 34,00 a 60,94%, observando que el mayor valor lo obtienen los paneles de lupuna y el menor valor los paneles de bolaina, lo que se atribuye a la mayor porosidad de lupuna respecto a bolaina por su menor densidad básica, que según Iwakiri (2005) “la densidad de la madera presenta una relación inversa con la porosidad”. Los resultados de hinchamiento variaron de 7,18 a 10,28% en los paneles encolados con urea-formaldehído y de 6,59 a 14,0% en los paneles con fenol-formaldehído, el mayor valor lo obtienen los paneles de lupuna y el menor los paneles de bolaina, lo cual se explica por los resultados de absorción. Los resultados de hinchamiento más recuperación en espesor variaron de 1,54 a 2,84% en los paneles encolados con urea-formaldehído y de 6,59 a 14,0% en los paneles con fenol-formaldehído, observando que el mayor valor corresponden a los paneles de y bolaina/lupuna, y el menor a los paneles de lupuna, para los paneles encolados con urea-formaldehído; y de 1,51 a 10,24% para los paneles con fenol-formaldehído, el mayor valor lo obtiene los paneles de lupuna y el menor los paneles de bolaina, lo cual es una consecuencia de los resultados de absorción e hinchamiento, para bolaina se tiene menor absorción, menor hinchamiento y menor recuperación en espesor y para lupuna mayor absorción, mayor hinchamiento y mayor recuperación en espesor.

## 4.7 PROPIEDADES MECÁNICAS

### 4.7.1 Resistencia de la línea de cola al cizallamiento en los paneles encolados con urea-formaldehído (UF).

Los valores medios de resistencia de la línea de cola a los esfuerzos de cizallamiento y porcentaje de falla de la madera de los paneles encolados con urea-formaldehído, obtenidos en la prueba en seco y húmedo (inmersión en agua 24h), se muestran en la TABLAS 23, 24 y en las FIGURAS 61, 62 y 63.

TABLA 23 - VALORES MEDIOS DE RESISTENCIA DE LA LÍNEA DE COLA AL CIZALLAMIENTO Y DE FALLA DE LA MADERA

TRAT.	RESINA	F	ESPECIE	RLC (MPa)			FM (%)		
				SECO	HUMEDO	HERVOR 6H	SECO	HUMEDO	HERVOR
T1	UF	A	BOL	2,58	2,61		68,82	64,17	
T2			LUP	1,89	1,82		96,25	99,06	
T3			BO/LU	2,00	1,54		89,72	88,61	
T4		B	BOL	2,98	2,54		76,29	67,50	
T5			LUP	1,88	1,45		92,50	95,67	
T6			BO/LU	2,22	1,61		90,83	76,11	
T7	FF	B	BOL		2,34	2,13		51,18	42,06
T8			LUP		1,47			86,92	
T9			BO/LU		1,26	1,03		94,00	78,97
T10		C	BOL		2,14	2,11		50,83	57,78
T11			LUP		0,99	0,84		90,34	90,34
T12			BO/LU		1,08	0,64		93,33	95,45

FUENTE: El autor (2019).

UF: úrea-formaldehído; FF: fenol-formaldehído; F: formulación; RLC: resistencia en la línea de cola; FM: falla de la madera.

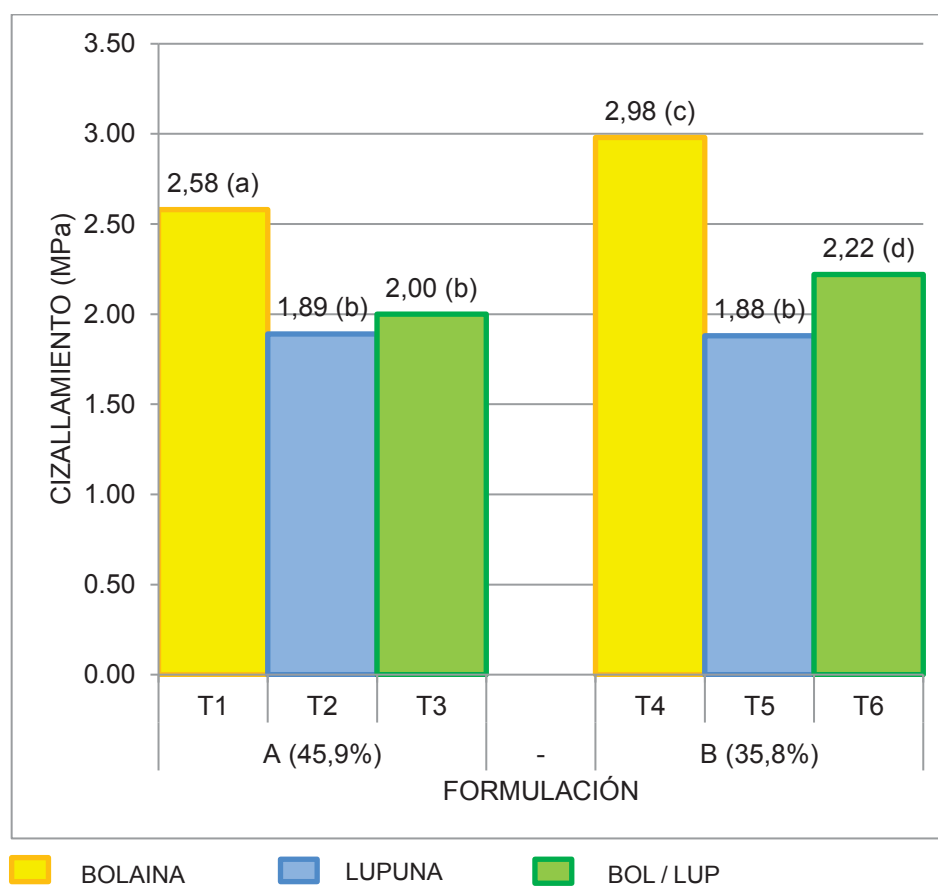
TABLA 24 - RESISTENCIA DE LA LÍNEA DE COLA AL CIZALLAMIENTO, PARA LOS PANELES ENCOLADOS CON UREA-FORMALDEHÍDO

TRATAMIENTO	PRUEBA EN SECO		PRUEBA 24H INMERSIÓN EN AGUA	
	RLC (MPa)	FM (%)	RLC (MPa)	FM (%)
A	2,16a <sup>ns</sup> (46,27)	84,80a <sup>ns</sup> (30,04)	1,99a <sup>ns</sup> (46,43)	83,37a <sup>ns</sup> (31,79)
B	2,39a <sup>ns</sup> (48,70)	86,16a <sup>ns</sup> (25,24)	1,89a <sup>ns</sup> (52,84)	78,82a <sup>ns</sup> (37,76)
T1. UF/A/BO	2,58 <sup>a</sup> (45,23)	68,82 <sup>a</sup> (51,58)	2,61 <sup>a</sup> (30,88)	64,17 <sup>a</sup> (51,94)
T2. UF/A/LU	1,89 <sup>b</sup> (40,01)	96,25 <sup>b</sup> (7,35)	1,82 <sup>b</sup> (48,18)	99,06 <sup>b</sup> (2,99)
T3. UF/A/B-L	2,00 <sup>b</sup> (45,41)	89,72 <sup>c</sup> (17,37)	1,54 <sup>cd</sup> (49,00)	88,61 <sup>c</sup> (20,03)
T4. UF/B/BO	2,98 <sup>c</sup> (45,34)	76,29 <sup>ab</sup> (39,72)	2,54 <sup>e</sup> (44,86)	67,50 <sup>ab</sup> (52,09)
T5. UF/B/LU	1,88 <sup>b</sup> (41,62)	92,50 <sup>d</sup> (12,00)	1,45 <sup>cd</sup> (28,11)	95,67 <sup>d</sup> (8,97)
T6. UF/B/B-L	2,22 <sup>d</sup> (44,40)	90,83 <sup>cd</sup> (14,97)	1,61 <sup>d</sup> (54,47)	76,11 <sup>e</sup> (38,88)

FUENTE: El autor (2019).

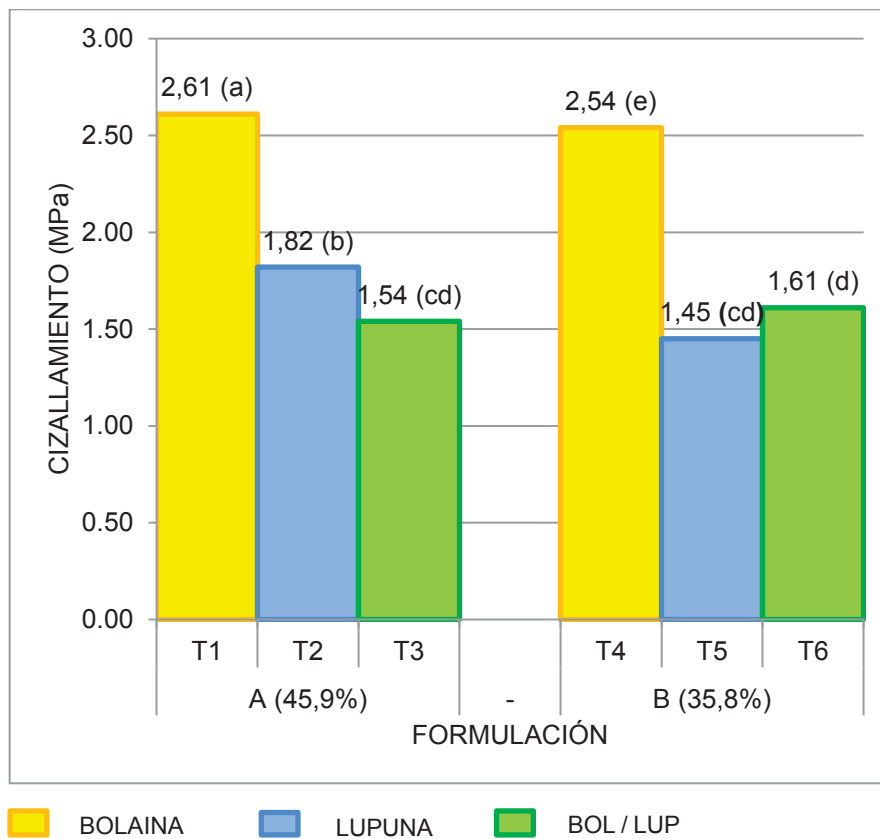
A y B: formulaciones con urea-formaldehído; RLC: resistencia de la línea de cola; FM: falla de la madera. Las medias seguidas de una misma letra en una misma columna son estadísticamente iguales, por la prueba de Tukey al 95% de probabilidad. Valores entre paréntesis se refieren al coeficiente de variación.

FIGURA 61 – RESISTENCIA DE LA LÍNEA DE COLA AL CIZALLAMIENTO DE LA PRUEBA EN SECO, DE LOS PANELES ENCOLADOS CON UF



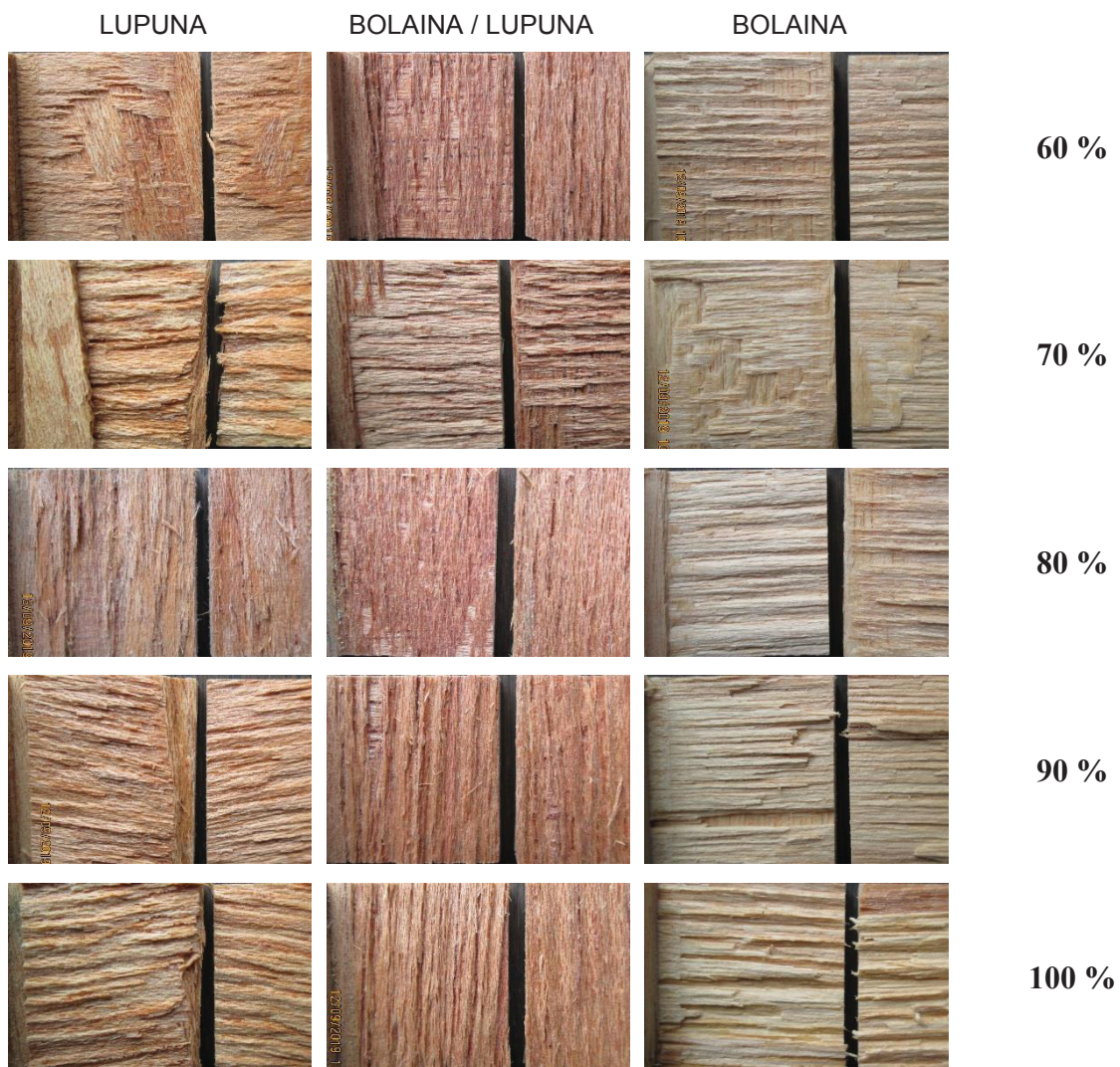
FUENTE: El autor (2020).

FIGURA 62 - RESISTENCIA DE LA LÍNEA DE COLA AL CIZALLAMIENTO DE LA PRUEBA 24H INMERSIÓN EN AGUA DE LOS PANELES ENCOLADOS CON UF



FUENTE: El autor (2020).

FIGURA 63 – MUESTRAS DE LA EVALUACIÓN DEL PORCENTAJE DE FALLA DE LA MADERA DE LOS PANELES ENCOLADOS CON UREA-FORMALDEHIDO



FUENTE: El autor (2019).

Los resultados obtenidos, demuestran que el efecto formulación no ejerce influencia estadística significativa en la resistencia de la línea de cola y el porcentaje de falla de la madera, resultado que puede ser considerado muy importante desde el punto de vista industrial, que según Marra (1992), la cantidad del adhesivo debe estar condicionada al costo, uso y resistencia mínima exigida. Los valores medios de cizallamiento en seco varían 1,88 a 2,98 MPa, con un porcentaje de falla promedio de la madera de 92,50 y 76,29%, respectivamente, el mayor valor corresponde a los paneles de bolaina y el menor a los paneles de lupuna, resultados que fueron superiores a los valores medios encontrados por Iwakiri, De Castro, Moreira, Alves, y Puehringer (2002), de 1,06 1,57 MPa, para paneles compensados de *Pinus taeda*. El

promedio de los valores de cizallamiento en húmedo (inmersión en agua), variaron de 1,45 a 2,61 MPa, con un porcentaje de falla de 95,67 y 64,17%, respectivamente, los mayores valores lo obtuvieron los paneles de bolaina y los menores los paneles de lupuna, resultados superiores al valor medio encontrado por Iwakiri, Sanches, Potulski, Da Silva, De Andrade y Marchesan (2012), de 1,17 MPa con un porcentaje de falla de la madera de 23%, para paneles compensados de *Pinus taeda*. Así mismo, se debe resaltar que los valores medios de resistencia de la línea de cola obtenidos para los paneles compensados de bolaina y lupuna, cumplen con los requisitos mínimos de la norma EN 314-2 (CEN,1993) para paneles de uso interior, cuyos valores son de 0,6 a 1,0 MPa, asociados a un porcentaje de falla de la madera superior a 40%; todos los tratamientos fueron superiores a 64% de porcentaje de falla.

#### 4.7.2 Flexión estática paralela y perpendicular de los paneles encolados con urea-formaldehído (UF).

Los valores medios de la resistencia a flexión estática de los paneles elaborados con urea-formaldehído, referidos al módulo de elasticidad (MOE) y al módulo de ruptura (MOR) en sentido paralelo y perpendicular, se muestran en la TABLAS 25, 26 y en las FIGURAS 64, 65, 66 y 67.

TABLA 25 – MÓDULO DE ELASTICIDAD Y MÓDULO DE RUPTURA EN FLEXIÓN ESTÁTICA EN SENTIDO PARALELO Y PERPENDICULAR DE LOS PANELES ENCOLADOS CON UF Y FF

TRATAMIENTO	ADHESIVO	FORMULACIÓN	ESPECIE	SENTIDO PARALELO		SENTIDO PERPENDICULAR	
				MOE (MPa)	MOR (MPa)	MOE (MPa)	MOR (MPa)
T1			BOL	5989	56,61	1989,0	30,98
T2		A	LUP	3813	40,50	1309,9	25,12
T3	UF		BOL/LUP	5444	61,75	1854,9	23,43
T4			BOL	5926	63,34	2224,0	28,77
T5		B	LUP	3806	37,79	1097,8	18,82
T6			BOL/LUP	6333	63,38	1866,8	24,86
T7			BOL	5462	56,98	2266,0	35,22
T8		B	LUP	4933	40,80	919,0	16,30
T9	FF		BOL/LUP	4883	39,04	850,4	16,39
T10			BOL	7037	68,81	2263,0	34,77
T11		C	LUP	3735	36,73	1424,0	21,21
T12			BOL/LUP	5910	49,00	1031,9	18,86
			CV (%)	9,87	11,27	11,22	12,04

FUENTE: El autor (2019).

NOTAS: A y B: formulaciones para úrea-formaldehído (UF); B y C: formulaciones para fenol-formaldehído (FF); MOR: módulo de ruptura; MOE: módulo de elasticidad.

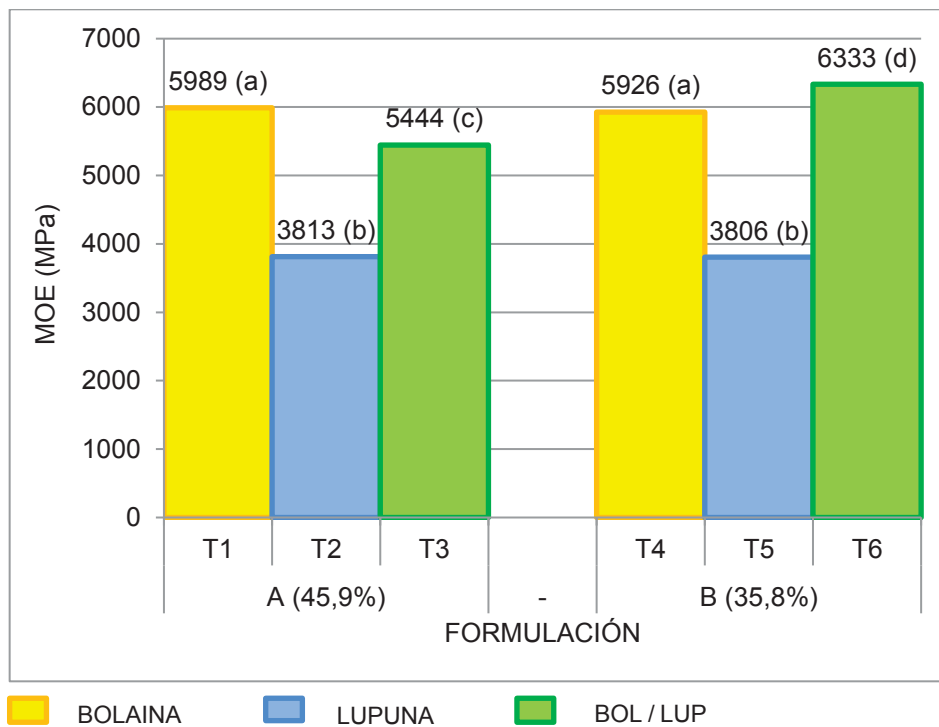
TABLA 26 – RESULTADOS MEDIOS DE FLEXIÓN ESTÁTICA PARA LOS PANELES ENCOLADOS CON UREA-FORMALDEHÍDO (UF)

TRATAMIENTO	MOE (MPa)	MOR (MPa)	MOE (MPa)	MOR (MPa)
A	5118a <sup>ns</sup> (27,83)	53,31a <sup>ns</sup> (22,59)	1717,9a <sup>ns</sup> (22,37)	26,51a <sup>ns</sup> (37,88)
B	5355a <sup>ns</sup> (29,35)	54,84a <sup>ns</sup> (26,01)	1729,5a <sup>ns</sup> (33,01)	24,15a <sup>ns</sup> (24,27)
T1. UF/A/BO	5989 <sup>a</sup> (16,76)	56,61 <sup>a</sup> (20,69)	1989,0 <sup>a</sup> (18,20)	30,98 <sup>a</sup> (20,70)
T2. UF/A/LU	3813 <sup>b</sup> (12,37)	40,50 <sup>b</sup> (12,37)	1309,9 <sup>b</sup> (9,14)	25,12 <sup>b</sup> (61,39)
T3. UF/A/BO-LU	5444 <sup>c</sup> (28,54)	61,75 <sup>c</sup> (8,22)	1854,9 <sup>c</sup> (11,09)	23,43 <sup>c</sup> (11,86)
T4. UF/B/BO	5926 <sup>a</sup> (27,21)	63,34 <sup>d</sup> (15,74)	2224,0 <sup>d</sup> (17,27)	28,77 <sup>d</sup> (21,49)
T5. UF/B/LU	3806 <sup>b</sup> (22,49)	37,79 <sup>e</sup> (18,08)	1097,8 <sup>e</sup> (25,38)	18,82 <sup>e</sup> (10,26)
T6. UF/B/BO-LU	6333 <sup>d</sup> (11,28)	63,38 <sup>cd</sup> (11,28)	1866,8 <sup>c</sup> (16,04)	24,86 <sup>f</sup> (14,18)

FUENTE: El autor (2019).

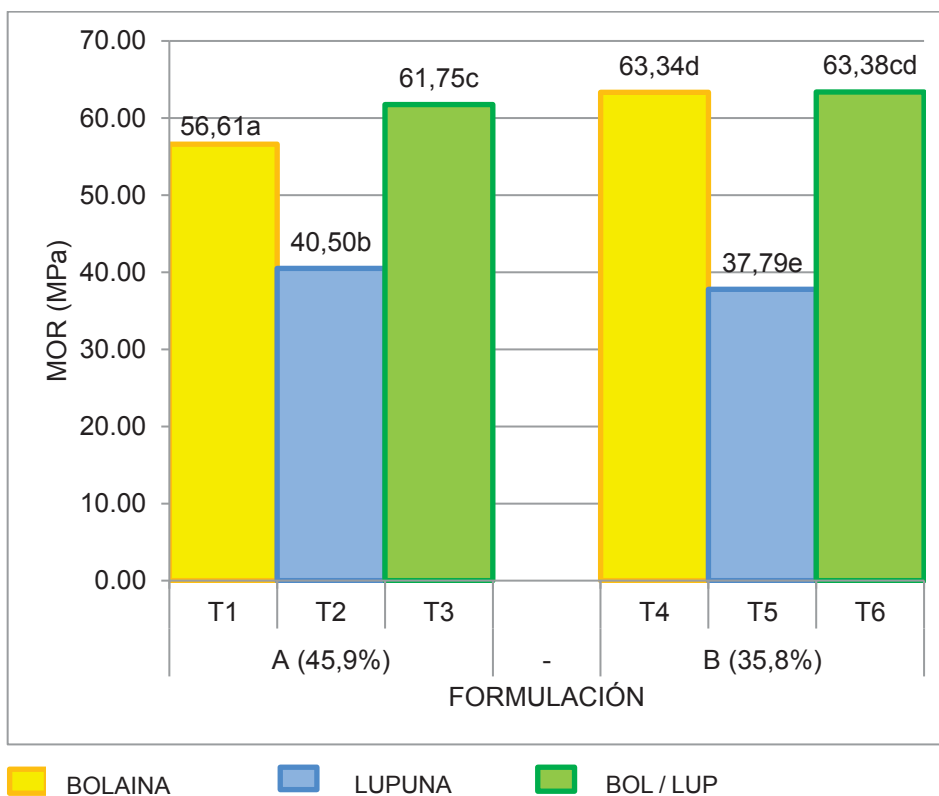
A y B: formulaciones con urea-formaldehído; MOR: módulo de ruptura; MOE: módulo de elasticidad; Pa: paralelo; Pe: perpendicular. Las medias seguidas de una misma letra en una misma columna son estadísticamente iguales, por la prueba de Tukey al 95% de probabilidad. Valores entre paréntesis se refieren al coeficiente de variación.

FIGURA 64 – MÓDULO DE ELASTICIDAD EN SENTIDO PARALELO DE LOS PANELES ENCOLADOS CON UF



FUENTE: El autor (2020).

FIGURA 65 – MÓDULO DE RUPTURA EN SENTIDO EN PARALELO DE LOS PANELES ENCOLADOS CON UF



FUENTE: El autor (2020).

FIGURA 66 – MÓDULO DE ELASTICIDAD EN SENTIDO PERPENDICULAR DE LOS PANELES ENCOLADOS CON UF

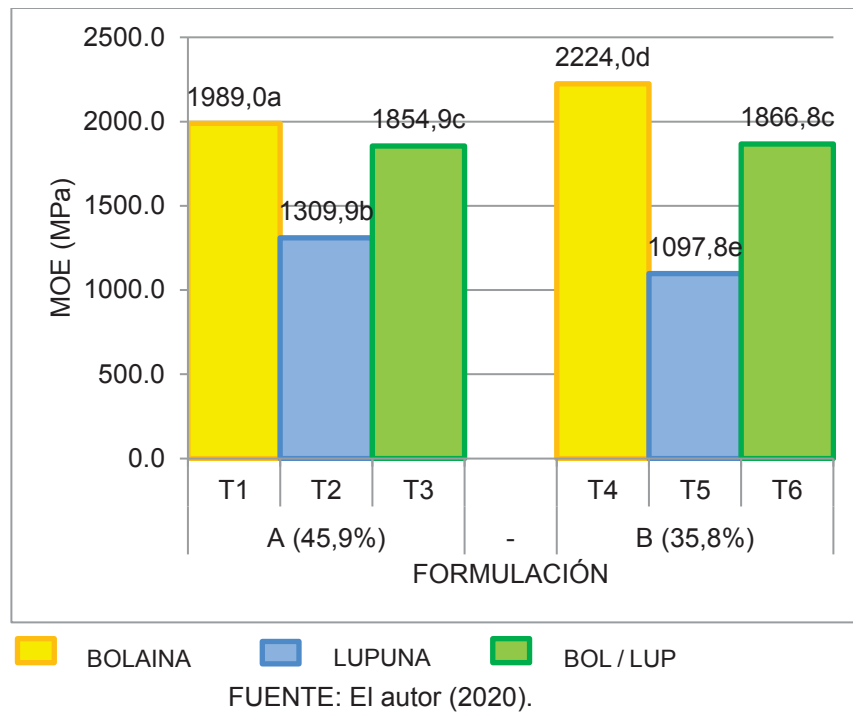
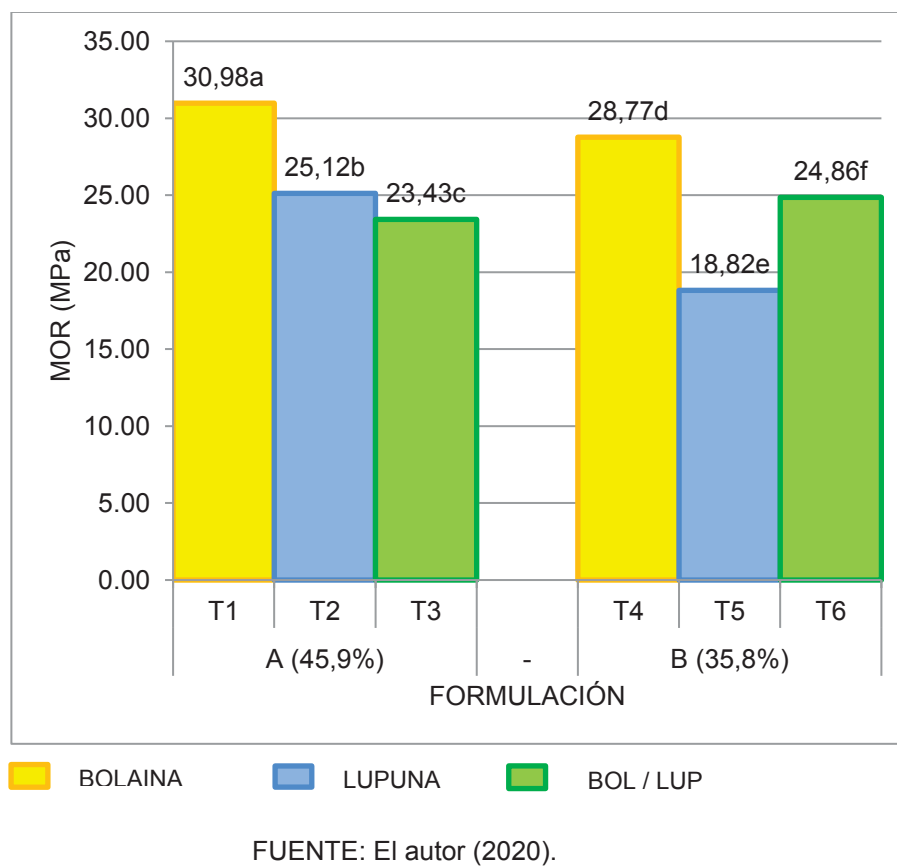


FIGURA 67 – MÓDULO DE RUPTURA EN SENTIDO PERPENDICULAR DE LOS PANELES ENCOLADOS CON UF



Los resultados obtenidos, demuestran que el efecto formulación (A y B) no ejerce influencia estadística significativa sobre los módulos de elasticidad y de ruptura en sentido paralelo y perpendicular. Este resultado puede ser considerado muy importante desde el punto de vista industrial, debido a que permite maximizar la productividad y minimizar los costos del producto por lo que la cantidad del adhesivo debe estar condicionada al costo, uso y resistencia mínima exigida Marra (1992). Considerando la interacción de las dos variables formulación y especie utilizada en la composición del panel, para MOE paralelo, no influyen significativamente en los tratamientos (T1xT4 y T2xT5), con excepción de (T3xT6) en donde si existe una influencia significativa. El promedio de MOE paralelo varía de 3813 a 6333 MPa, el mayor valor corresponde a los paneles de bolaina y el menor a los paneles de lupuna, lo cual se atribuir a la mayor densidad básica de bolaina ( $0,42 \text{ g/cm}^3$ ) que la de lupuna ( $0,35 \text{ g/cm}^3$ ). Respecto al MOR paralelo, la interacción de las variables influye significativamente en los valores promedios de estas propiedades (T1xT4 y T2xT5), no existiendo diferencias significativas en las interacciones T3xT6 y T4xT6. El promedio de MOR paralelo varía de 37,79 a 63,38 MPa, el mayor valor corresponde a los paneles de bolaina y el menor a los paneles de lupuna, lo cual se atribuir a la mayor densidad básica de bolaina.

Como la norma europea no establece valores mínimos para los módulos de ruptura y elasticidad, los valores obtenidos a partir de *Guazuma crinita* fueron comparados con los datos disponibles para paneles compensados de *Pinus taeda* encolados con resina ure-formaldehído que, de acuerdo con el catálogo técnico de la Asociación Brasileña de la Industria de la Madera Procesada mecánicamente (ABIMCI, 2002), los valores medios de MOE y MOR paralelo de los paneles comerciales de *Pinus taeda*, de masa específica de  $0,53 \text{ g/cm}^3$ , son de 6890 MPa y 38,1 MPa, respectivamente. Por lo tanto, los valores MOE paralelo obtenidos para los paneles de bolaina y lupuna pueden ser considerados satisfactorios, en cambio los valores de MOR son superiores a los valores referenciales.

Para MOE perpendicular, la interacción formulación y especie utilizada en la composición de los paneles influyen significativamente en los tratamientos (T1xT4 y T2xT5) y (T3xT6). El promedio de MOE perpendicular varía de 1097,8 a 222,0 MPa. El mayor valor lo obtienen los paneles de bolaina y menor los paneles de lupuna, lo cual se atribuir a la mayor densidad básica de bolaina ( $0,42 \text{ g/cm}^3$ ) que la de lupuna ( $0,35 \text{ g/cm}^3$ ). Para MOR perpendicular, la interacción formulación y especie utilizada

en la composición de los paneles influyen significativamente en los tratamientos (T1xT4 y T2xT5) y (T3xT6). El promedio de MOR perpendicular varía de 18,82 a 30,98 MPa, donde el mayor valor corresponde a los paneles de bolaina y el menor a los paneles de lupuna, lo cual se atribuir a la mayor densidad básica de bolaina.

De acuerdo con el catálogo técnico de ABIMCI (2002), los valores medios de MOE y MOR perpendicular de los paneles comerciales de *Pinus taeda* son de 2839 MPa y 25,3 MPa, para masa específica de 0,53 g/cm<sup>3</sup>. Por lo tanto, los valores MOE perpendicular obtenidos para los paneles de bolaina y lupuna pueden ser considerados satisfactorios, en cambio los valores de MOR de bolaina de 30,98 MPa y 28,77 MPa son superiores a los valores referenciales.

#### 4.7.3 Resistencia al cizallamiento de la línea de cola de los paneles encolados con fenol-formaldehído (FF).

Los valores medios de resistencia de la línea de cola a los esfuerzos de cizallamiento y porcentaje de falla de la madera de los paneles encolados con fenol-formaldehído, obtenidos en las pruebas en húmedo (inmersión en agua 24h) y en hervor 6h se muestran en las TABLAS 23, 27 y en las FIGURAS 68, 69 y 70.

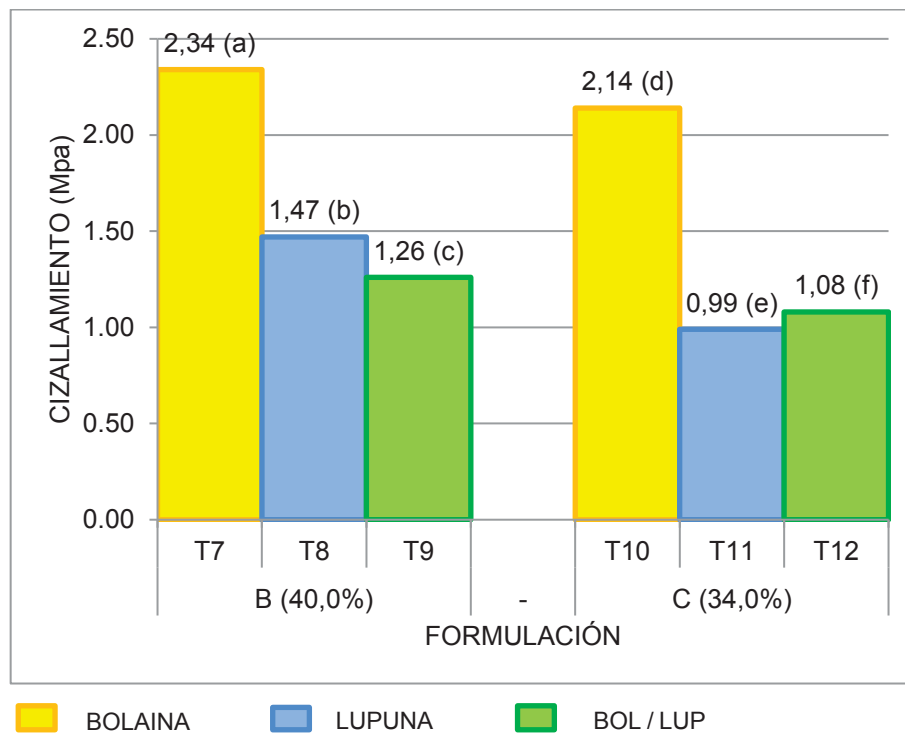
TABLA 27 - RESISTENCIA DE LA LÍNEA DE COLA AL CIZALLAMIENTO PARA LOS PANELES ENCOLADOS CON FENOL- FORMALDEHÍDO (FF)

TRATAMIENTO	INMERSIÓN EN AGUA 24H		HERVOR	
	RLC (MPa)	FM (%)	RLC (MPa)	FM (%)
B	1,83 <sup>a</sup> (60,26)	70,90 <sup>a</sup> <sup>ns</sup> (44,59)	1,62 <sup>a</sup> <sup>ns</sup> (70,68)	59,05 <sup>a</sup> (56,31)
C	1,44 <sup>b</sup> (68,83)	76,84 <sup>a</sup> <sup>ns</sup> (37,68)	1,22 <sup>a</sup> <sup>ns</sup> (81,40)	80,10 <sup>b</sup> (34,18)
T7. FF/B/BO	2,34 <sup>a</sup> (54,01)	51,18 <sup>a</sup> (63,23)	2,13 <sup>a</sup> (60,98)	42,06 <sup>a</sup> (72,11)
T8. FF/B/LU	1,47 <sup>b</sup> (42,48)	86,92 <sup>bc</sup> (19,01)		
T9. FF/B/BO-LU	1,26 <sup>c</sup> (48,48)	94,00 <sup>d</sup> (7,24)	1,03 <sup>b</sup> (47,99)	78,97 <sup>b</sup> (31,08)
T10.FF/C/BO	2,14 <sup>d</sup> (60,61)	50,83 <sup>a,b</sup> (63,68)	2,11 <sup>c</sup> (53,79)	57,78 <sup>c</sup> (55,99)
T11.FF/C/LU	0,99 <sup>e</sup> (23,04)	90,34 <sup>c</sup> (11,64)	0,84 <sup>d</sup> (39,27)	90,34 <sup>d</sup> (16,06)
T12.FF/C/BO-LU	1,08 <sup>f</sup> (45,46)	93,33 <sup>d</sup> (10,26)	0,64 <sup>e</sup> (65,72)	95,45 <sup>e</sup> (6,67)

FUENTE: El autor (2019).

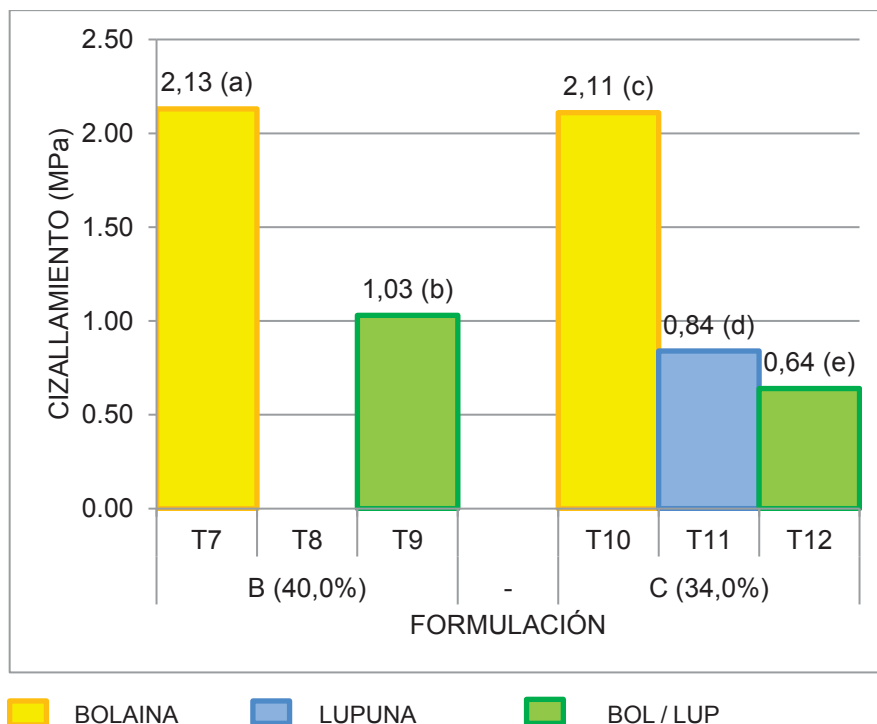
B y C: formulaciones con fenol-formaldehído; RLC: resistencia de la línea de cola; FM: falla de la madera. Las medias seguidas de una misma letra en una misma columna son estadísticamente iguales, por la prueba de Tukey al 95% de probabilidad. Valores entre paréntesis se refieren al coeficiente de variación.

FIGURA 68 - RESISTENCIA DE LA LÍNEA DE COLA AL CIZALLAMIENTO DE LA PRUEBA 24 H INMERSIÓN EN AGUA DE LOS PANELES ENCOLADOS CON FF



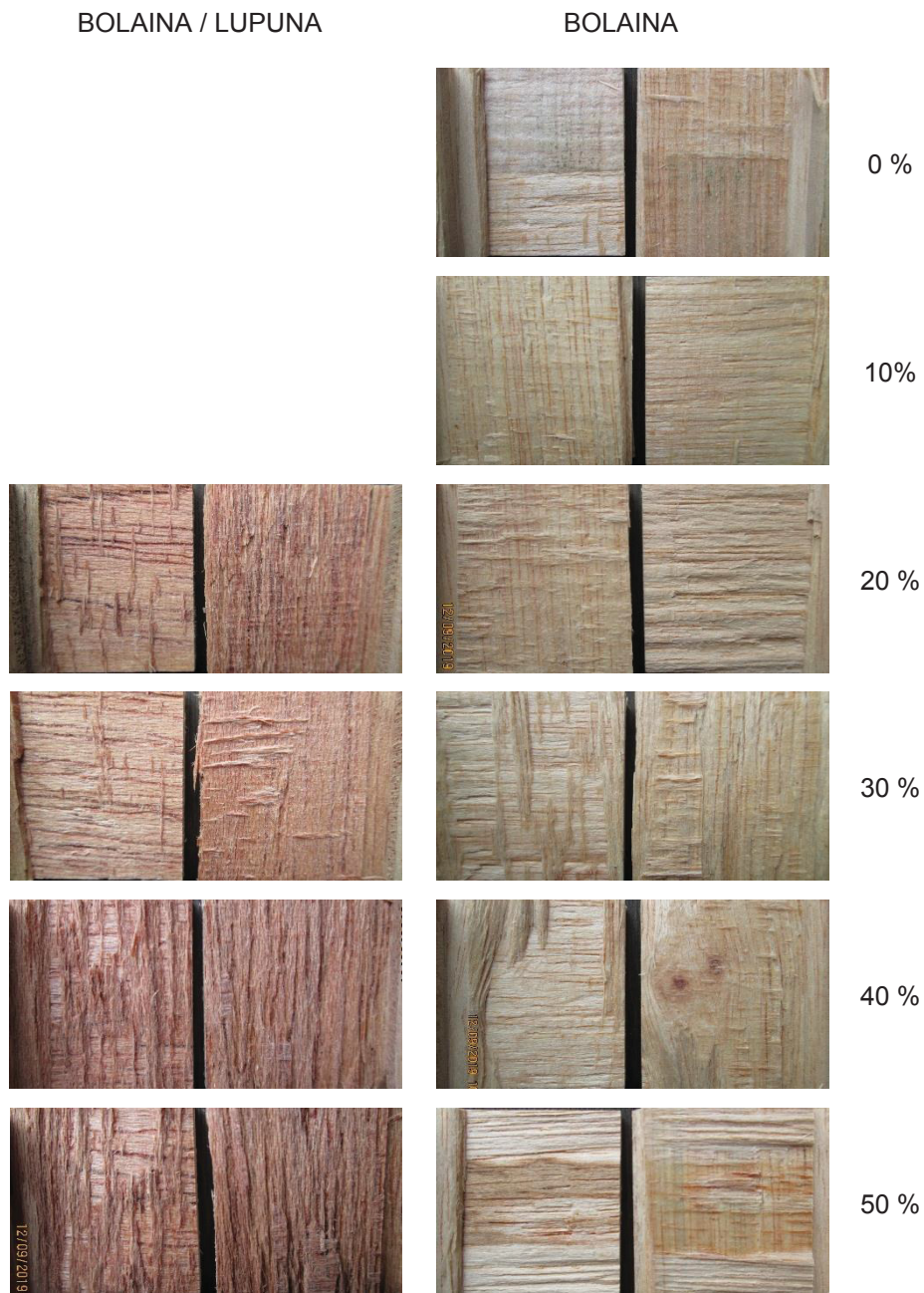
FUENTE: El autor (2020).

FIGURA 69 - RESISTENCIA DE LA LÍNEA DE COLA AL CIZALLAMIENTO DE LA PRUEBA HERVOR 6 H DE LOS PANELES ENCOLADOS CON FF



FUENTE: El autor (2020).

FIGURA 70 – MUESTRAS DE LA EVALUACIÓN DEL PORCENTAJE DE FALLA DE LA MADERA, DE LOS PANELES ENCOLADOS CON FENOL FORMALDEHIDO (FF).



FUENTE: El autor (2019).

Los resultados obtenidos, demuestran que el efecto formulación (B y C) si ejerce influencia estadística significativa en la resistencia de la línea de cola y el porcentaje de falla de la madera, obteniendo un valor medio de cizallamiento de la línea de cola de 1,83 MPa para la formulación B y de 1,44 MPa para la formulación C,

con un porcentaje de falla promedio de 70,90 y 76,84%, para la prueba en húmedo (inmersión en agua) y de 1,22 a 1,62 MPa, con un porcentaje de falla de 80,10 y 59,05%, respectivamente para la prueba luego del hervor. Así mismo, la interacción de las dos variables formulación y especie utilizada en la composición del panel influyen significativamente en los resultados de cizallamiento de la línea de cola de los paneles. Los valores medios de cizallamiento en húmedo (inmersión en agua) varían de 0,99 a 2,34 MPa, con un porcentaje de falla promedio de la madera de 90,34 y 51,18%, respectivamente. El mayor valor lo obtienen los paneles de bolaina y el menor a los paneles de lupuna, los resultados promedios están dentro de rango promedio de los valores encontrados por Iwakiri, Razera, De Almeida, Petro, Weber, Chies, Prato, Franzoni, Rigatto y Bettega (2006), de 1,40 a 2,04 MPa, para paneles compensados de *Pinus taeda*. El promedio de los valores de cizallamiento en la prueba de hervor, variaron de 0,64 a 2,13 MPa, con un porcentaje de falla de 95,45 y 60,98%. El mayor valor corresponde a los paneles de bolaina y el menor a los paneles de lupuna, los resultados promedios son ligeramente superiores a los valores medios encontrado por Iwakiri *et al.* (2006), de 1,07 y 1,41 MPa e Iwakiri, Matos, Lima, Ferreira, Batista y Romão (2009), de 1,32 MPa para paneles compensados de *Pinus taeda*. Así mismo, se debe resaltar que los valores medios de resistencia de la línea de cola obtenidos para los paneles compensados de bolaina y lupuna, cumplen con los requisitos mínimos de la norma EN 314-2 (CEN, 1993) para paneles de uso exterior, cuyos valores son de 0,6 a 1,0 MPa, asociados a un porcentaje de falla de la madera superior a 40%; todos los tratamientos fueron superiores a 42% de porcentaje de falla de la madera.

#### 4.7.4 Flexión estática paralela y perpendicular de los paneles encolados con fenol-formaldehído (FF).

Los valores medios de la resistencia a flexión estática de los paneles elaborados con fenol-formaldehído, referidos al módulo de elasticidad (MOE) y al módulo de ruptura (MOR) en sentido perpendicular y paralelo, se muestran en las TABLAS 25, 28 y en las FIGURAS 71, 72, 73 y 74.

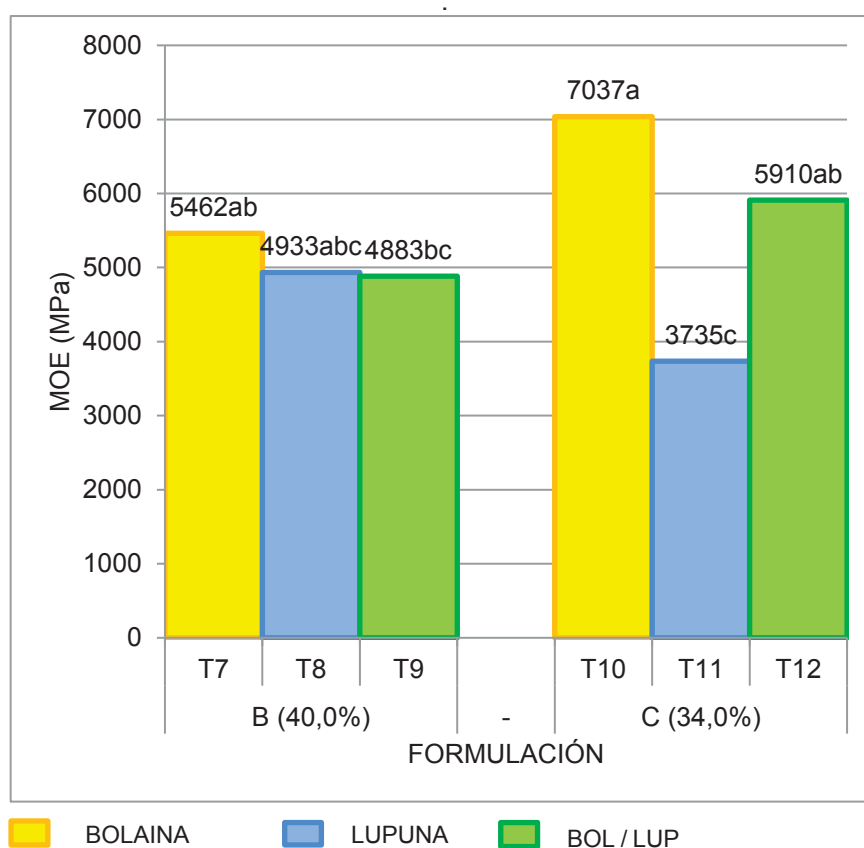
TABLA 28 – RESULTADOS MEDIOS DE FLEXIÓN ESTÁTICA PARA LOS PANELES ENCOLADOS CON FENOL-FORMALDEHÍDO (FF)

TRATAMIENTO	SENTIDO PARALELO		SENTIDO PERPENDICULAR	
	MOE (MPa)	MOR (MPa)	MOE (MPa)	MOR (MPa)
B	5101a <sup>ns</sup> (31,75)	45,83a <sup>ns</sup> (35,39)	1341a <sup>ns</sup> (59,46)	22,87a <sup>ns</sup> (46,53)
C	5613a <sup>ns</sup> (31,10)	51,94a <sup>ns</sup> (31,19)	1569a <sup>ns</sup> (43,73)	24,85a <sup>ns</sup> (40,70)
T7. FF/B/BO	5462 <sup>ab</sup> (29,83)	56,98 <sup>a</sup> (33,12)	2266,0 <sup>a</sup> (28,49)	35,22 <sup>a</sup> (23,70)
T8. FF/B/LU	4933 <sup>abc</sup> (20,47)	40,80 <sup>b</sup> (20,47)	919,0 <sup>b</sup> (60,40)	16,30 <sup>b</sup> (27,73)
T9. FF/B/BO-LU	4883 <sup>bc</sup> (36,70)	39,04 <sup>bc</sup> (29,06)	850,4 <sup>b</sup> (32,70)	16,39 <sup>c</sup> (26,56)
T10.FF/C/BO	7037 <sup>a</sup> (14,52)	68,81 <sup>d</sup> (9,93)	2263,0 <sup>a</sup> (16,16)	34,77 <sup>a</sup> (17,19)
T11.FF/C/LU	3735 <sup>c</sup> (33,64)	36,73 <sup>c</sup> (25,59)	1424,0 <sup>c</sup> (47,13)	21,21 <sup>d</sup> (50,65)
T12.FF/C/BO-LU	5910 <sup>ab</sup> (23,52)	49,00 <sup>e</sup> (23,52)	1031,9 <sup>d</sup> (21,71)	18,86 <sup>e</sup> (17,51)

FUENTE: El autor (2019).

B y C: formulaciones con fenol-formaldehído; MOR: módulo de ruptura; MOE: módulo de elasticidad; Pa: paralelo; Pe: perpendicular. Las medias seguidas de una misma letra en una misma columna son estadísticamente iguales, por la prueba de Tukey al 95% de probabilidad. Valores entre paréntesis se refieren al coeficiente de variación.

FIGURA 71- MÓDULO DE ELASTICIDAD EN SENTIDO PARALELO DE LOS PANELES ENCOLADOS CON FF.



FUENTE: El autor (2020).

FIGURA 72 – MÓDULO DE RUPTURA EN SENTIDO PARALELO DE LOS PANELES ENCOLADOS CON FF

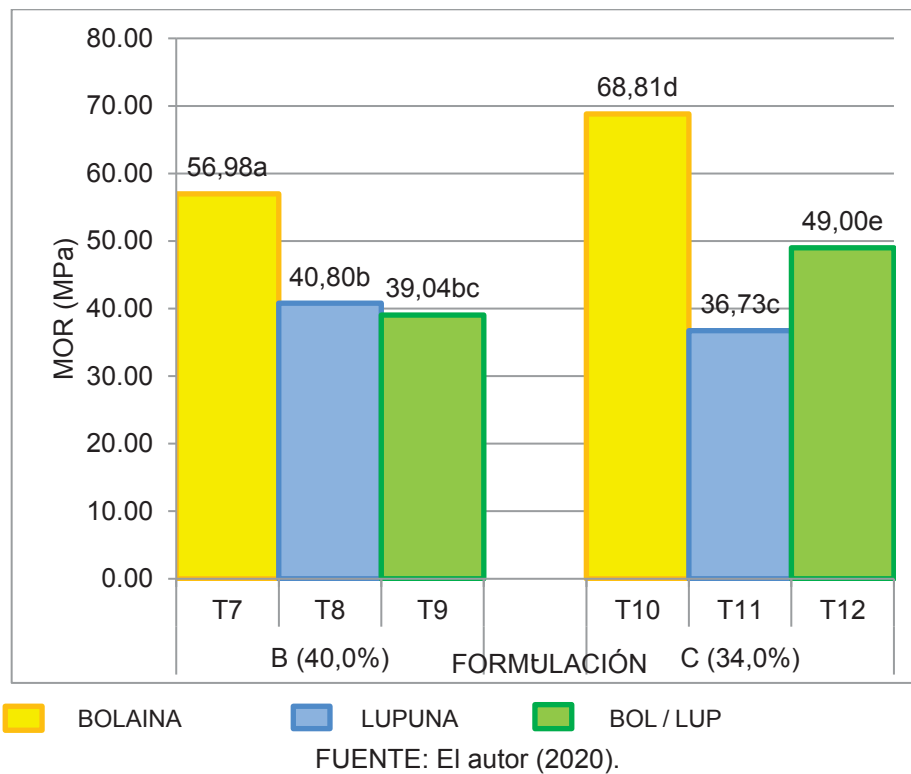


FIGURA 73 – MÓDULO DE ELASTICIDAD EN SENTIDO PERPENDICULAR DE LOS PANELES ENCOLADOS CON FF

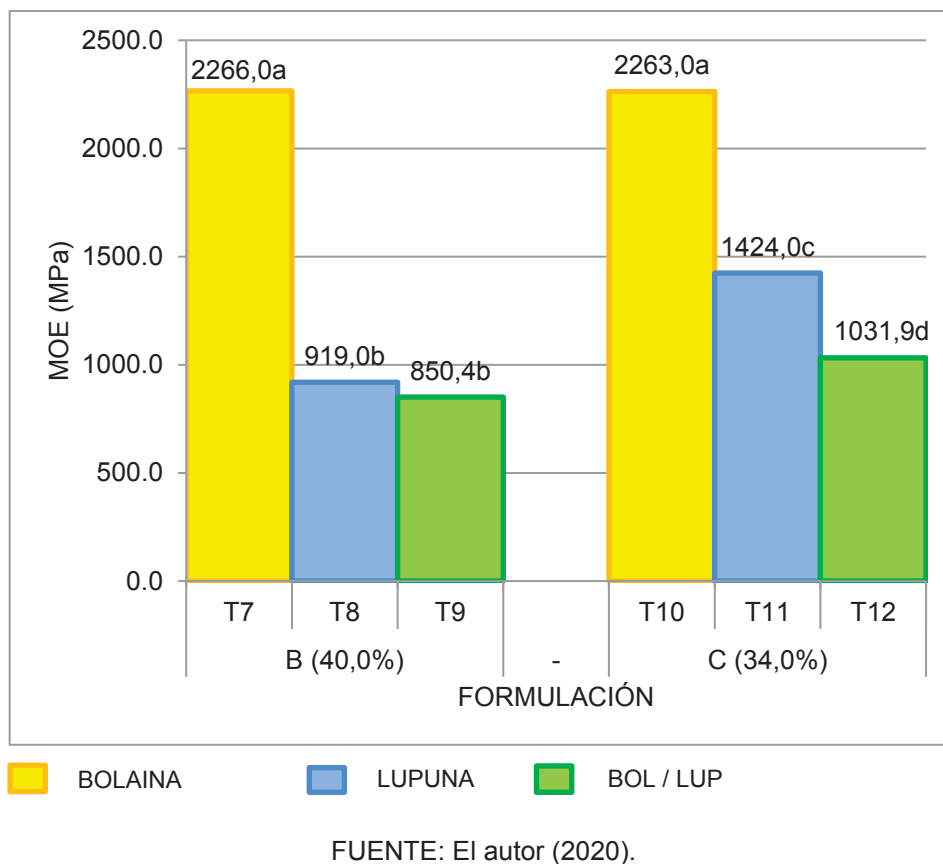
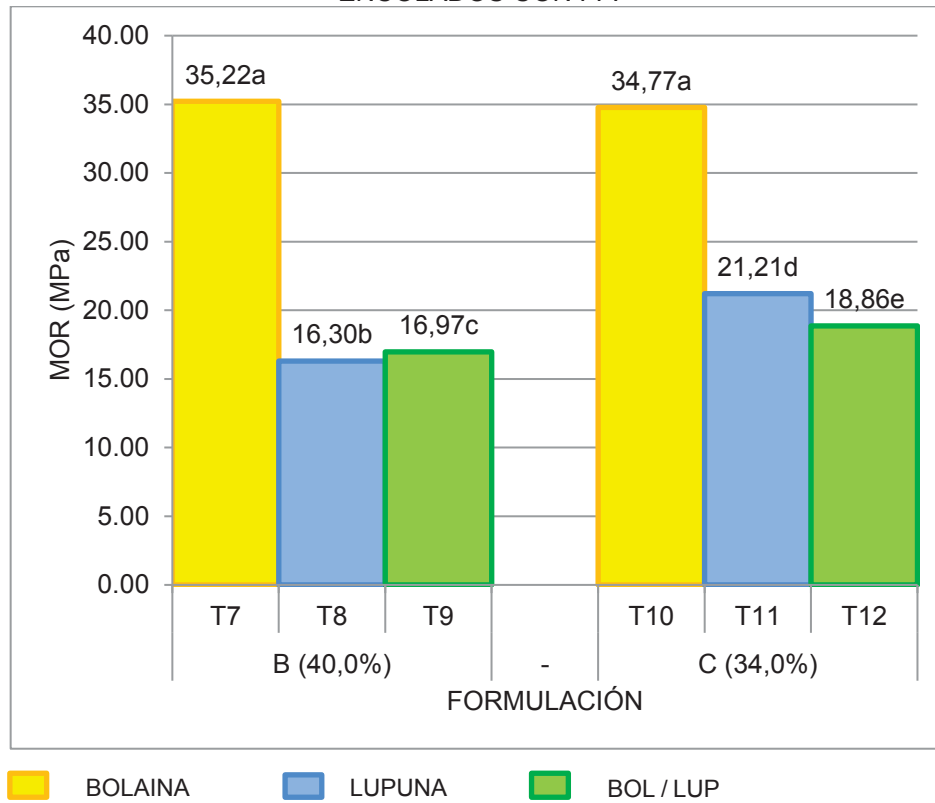


FIGURA 74 – MÓDULO DE RUPTURA EN SENTIDO PERPENDICULAR DE LOS PANELES ENCOLADOS CON FF.



FUENTE: El autor (2020).

Los resultados obtenidos, demuestran que el efecto formulación (B y C) no ejerce influencia estadística significativa sobre los módulos de elasticidad y de ruptura en sentido paralelo y perpendicular. Este resultado puede ser considerado muy importante desde el punto de vista industrial, debido a que permite maximizar la productividad y minimizar los costos del producto MARRA (1992). Considerando la interacción de las variables formulación y especie utilizada en la composición del panel, para MOE paralelo, se observa que la variable especie no influye significativamente en los tratamientos (T7xT10, T8xT11 y T9xT12). El promedio de MOE paralelo varía de 3735 a 7037 MPa. El mayor valor lo obtienen los paneles de bolaina y el menor los paneles de lupuna, lo cual se atribuye a la mayor densidad básica de bolaina. Para MOR paralelo, la interacción de las variables influye significativamente en los resultados de los tratamientos (T7xT10, T8xT11 y T9xT12). El promedio de MOR paralelo varía de 36,73 a 68,81 MPa. El mayor valor corresponde a los paneles de bolaina y el menor a los paneles de lupuna, lo cual se atribuye a la mayor densidad básica de bolaina.

De acuerdo con el catálogo técnico de ABIMCI (2002), los valores medios de MOE y MOR paralelo de los paneles comerciales de *Pinus taeda* son de 6890 MPa y 38,1 MPa, para masa específica de 0,53 g/cm<sup>3</sup>, los valores de MOE fueron menores a los de *Pinus taeda* sin embargo los valores de MOR fueron superiores con excepción de los paneles de lupuna de la formulación C.

Para MOE perpendicular, la interacción formulación y especie utilizada en la composición de los paneles se observa que existe una influencia significativa de la variable especie en los resultados obtenidos en los tratamientos (T8xT11 y T9xT12) y no existe una influencia de la especie en los resultados obtenidos de los tratamientos (T7xT10). El promedio de MOE perpendicular varía de 850,4 a 2266,0 MPa, el mayor valor lo obtienen los paneles de bolaina y los menores valores a los paneles de bolaina/lupuna, lo cual se atribuye a la mayor densidad básica de bolaina. Para MOR perpendicular, la interacción formulación y especie utilizada en la composición de los paneles se observa que existe una influencia significativa de la variable especie en los resultados obtenidos en los tratamientos (T8xT11 y T9xT12) y no existe una influencia de la especie en los resultados obtenidos en los tratamientos (T7xT10). El promedio de MOR perpendicular varía de 16,30 a 35,22 MPa. El mayor valor corresponde a los paneles de bolaina y el menor a los paneles de lupuna, debido a la mayor densidad básica de bolaina. De acuerdo con el catálogo técnico de ABIMCI (2002), los valores medios de MOE y MOR perpendicular de los paneles comerciales de *Pinus taeda* son, respectivamente, de 2839 MPa y 25,3 MPa, para masa específica de 0,53 g/cm<sup>3</sup>. Los valores de MOE y MOR obtenidos fueron menores a los de *Pinus taeda*, con excepción del MOR de los paneles de bolaina cuyos valores fueron mayores a los de *Pinus taeda*, por lo que los valores obtenidos para los paneles de bolaina y lupuna pueden ser considerados satisfactorios, teniendo en cuenta la menor masa específica de bolaina (0,42 g/cm<sup>3</sup>) y de lupuna (0,35 g/cm<sup>3</sup>).

#### 4.7.5 Compactación de los paneles encolados con urea-formaldehído y fenol-formaldehído.

Los valores medios de la compactación de los paneles encolados con urea-formaldehído, se muestran en las TABLAS 29, 30 y en la FIGURA 75.

TABLA 29 – VALORES MEDIOS DE COMPACTACIÓN DE LOS PANELES ENCOLADOS CON UREA FORMALDEHÍDO (UF) Y FENOL FORMALDEHÍDO (FF)

TRAT.	ADHESIVO	FORM.	ESPECIE	ESPEJOR LÁMINAS (mm)	ESPEJOR TABLERO (mm)	COMPACTACIÓN (%)
T1	UF	A	Bolaina	12,20	10,23	16,15
T2			Lupuna	11,70	9,48	18,95
T3			Bol/Lup	11,63	10,26	11,77
T4		B	Bolaina	11,33	10,74	5,21
T5			Lupuna	11,70	9,54	18,43
T6			Bol/Lup	11,43	10,37	9,33
T7	FF	B	Bolaina	11,57	9,95	13,90
T8			Lupuna	11,70	8,05	31,15
T9			Bol/Lup	11,63	8,58	26,27
T10		C	Bolaina	11,57	10,05	13,02
T11			Lupuna	11,67	8,21	29,63
T12			Bol/Lup	11,57	8,79	24,00

FUENTE: El autor (2019).

UF: úrea-formaldehído; FF: fenol-formaldehído.

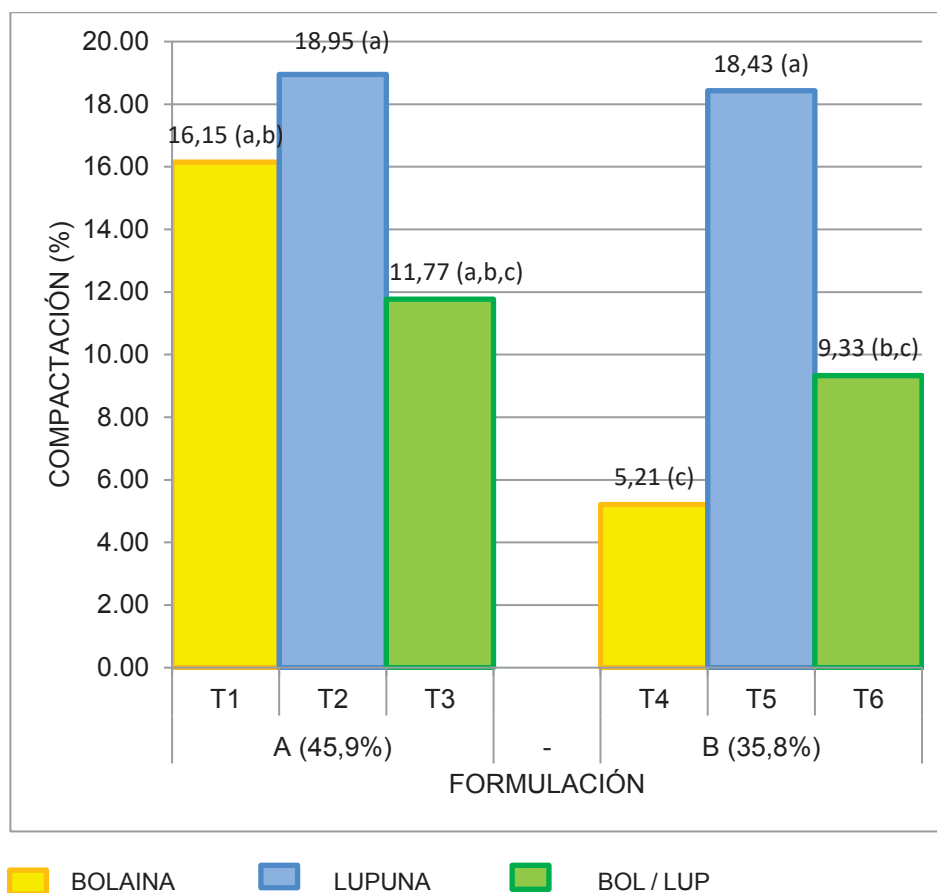
TABLA 30 - COMPACTACIÓN DE LOS PANELES ELABORADOS CON UREA-FORMALDEHIDO

TRATAMIENTO	ESPEJOR LÁMINAS (mm)	ESPEJOR TABLEROS (mm)	COMPACTACIÓN (%)
	MEDIA	MEDIA	MEDIA
A	11,84a (2,71)	9,99a (4,74)	15,62a <sup>ns</sup> (27,98)
B	11,49b (1,76)	10,22b (5,63)	10,99a <sup>ns</sup> (55,73)
T1. UF-A-BOL	12,20a (2,17)	10,23ab (2,17)	16,15ab (22,95)
T2. UF-A-LUP	11,70b (0,00)	9,40b (0,00)	18,95a (6,26)
T3. UF-A-BOL/LUP	11,63b (1,99)	10,26ab (1,99)	11,77abc (39,93)
T4. UF-B-BOL	11,33b (1,35)	10,74a (1,35)	5,21c (61,16)
T5. UF-B-LUP	11,70b (0,85)	9,54b (0,85)	18,43c (5,71)
T6. UF-B-LUP	11,43b (1,51)	10,37a (1,34)	9,33bc (12,62)

FUENTE: El autor (2019)

NOTAS: Las medias seguidas de una misma letra en una misma columna son estadísticamente iguales, por la prueba de Tukey al 95% de probabilidad. Valores entre paréntesis se refieren al coeficiente de variación.

FIGURA 75 – COMPACTACIÓN DE LOS PANELES ENCOLADOS CON UF



FUENTE: El autor (2020).

Los resultados obtenidos, demuestran que el efecto formulación (A y B) no ejerce influencia estadística significativa sobre los porcentajes de compactación de los paneles. Al considerar la interacción de las variables formulación y especie utilizada en la composición del panel, si tienen influencia significativa en los tratamientos (T1xT4 y T2xT5), con excepción de los tratamientos (T3xT6), en los cuales no hay una influencia de la interacción de las variables. Los menores valores de compactación fueron de 5,21% y 9,33% para los paneles de bolaina y bolaina//lupuna (formulación B), y 11,77% para los paneles de bolaina/lupuna (formulación A). Los mayores valores de compactación fueron de 18,95% para los paneles de lupuna (formulación A), 18,43% paneles de lupuna (formulación B) y 16,15% para los paneles de bolaina (formulación A), lo cual se puede explicar por utilizar, en el prensado de los paneles, una presión específica de 0,6 MPa para paneles conformados con láminas de especies de diferente de densidad básica bolaina 0,42 g/cm<sup>3</sup> y lupuna 0,35 g/cm<sup>3</sup>.

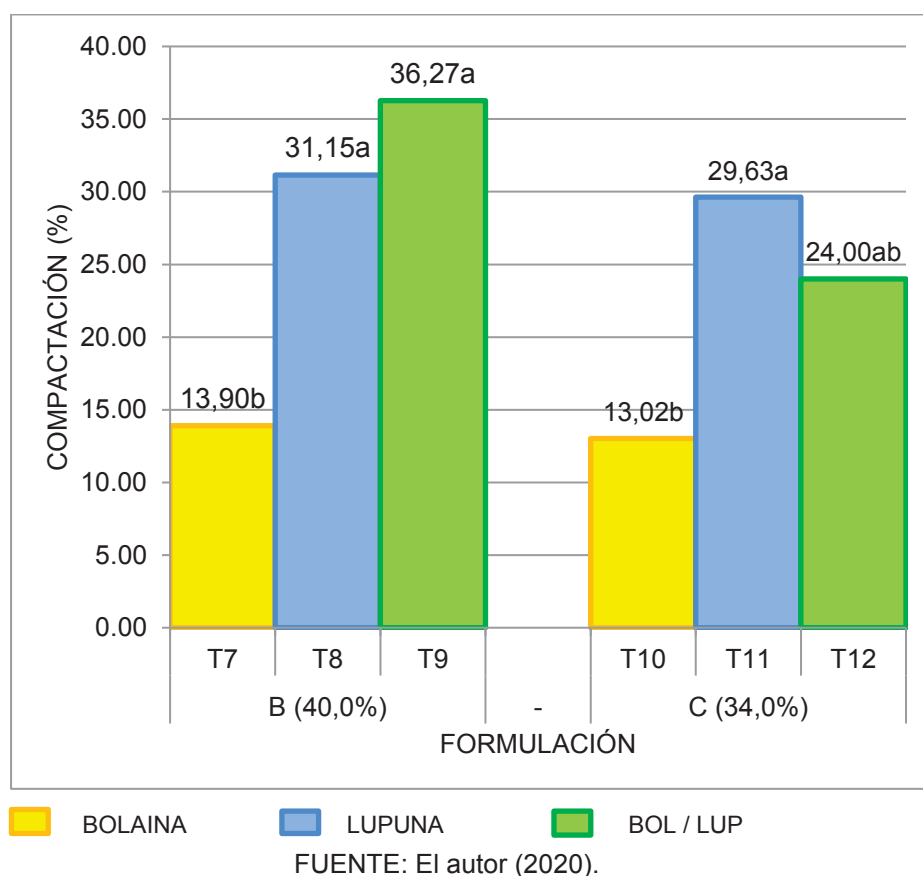
Los valores medios de la compactación de los paneles encolados con fenol-formaldehído, se muestran en las TABLAS 29, 31 y en la FIGURA 76.

TRATAMIENTO	ESPESOR LÁMINAS (mm) MEDIA	ESPESOR TABLEROS (mm) MEDIA	COMPACTACIÓN (%) MEDIA
B	11,63a <sup>ns</sup> (2,11)	8,86a <sup>ns</sup> (10,03)	23,78a <sup>ns</sup> (34,83)
C	11,60a <sup>ns</sup> (1,22)	9,02a <sup>ns</sup> (9,92)	22,22a <sup>ns</sup> (37,23)
T7. FF-B-BOL	11,57a (3,60)	9,95a (1,52)	13,90b (23,81)
T8. FF-B-LUP	11,70a (1,48)	8,05b (5,75)	31,15a (15,50)
T9. FF-B-BOL/LUP	11,63a (1,31)	8,58b (2,19)	26,27a (6,50)
T10. FF-C-BOL	11,57a (2,00)	10,05a (4,83)	13,02b (43,35)
T11. FF-C-LUP	11,67a (0,49)	8,21b (2,69)	29,63a (5,46)
T12. FF-C-BOL/LUP	11,57a (1,00)	8,79b (5,64)	24,00ab (20,83)

FUENTE: El autor (2019).

NOTAS: Las medias seguidas de una misma letra en una misma columna son estadísticamente iguales, por la prueba de Tukey al 95% de probabilidad. Valores entre paréntesis se refieren al coeficiente de variación.

FIGURA 76 – COMPACTACIÓN DE LOS PANELES ENCOLADOS CON FF



Los resultados obtenidos, demuestran que el efecto formulación (B y C) no ejerce influencia estadística significativa sobre los porcentajes de compactación de los paneles. Al considerar la interacción de las variables formulación y especie utilizada en la composición del panel, según la prueba de Tukey al 95% los valores medios compactación de los tratamientos son similares. Los menores valores de compactación de 13,02% y 13,9% fueron para los paneles de bolaina (formulaciones B y C). Los mayores valores de compactación de 31,15% y 29,63% fueron para los paneles de lupuna (formulaciones B y C); correspondiéndoles los valores intermedios de 24,0% y 26,27% a los paneles de bolain/lupuna (formulaciones C y B), esto se atribuye a la utilización, en el prensado de los paneles, de la misma presión específica de 1,0 MPa y una alta temperatura de 130 °C, para paneles conformados con láminas de especies de densidad básica diferentes, bolaina 0,42 g/cm<sup>3</sup> y lupuna 0,35 g/cm<sup>3</sup>.

## 5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Las características anatómicas, físicas y químicas de *Guazuma crinita* Mart. proveniente de plantaciones, se encuentran dentro de los rangos recomendados para la producción de paneles compensados.

El rendimiento promedio en el proceso de laminado hasta la obtención de láminas secas fue de 32,71%, valor considerado bajo debido a factores tecnológicos de procesamiento, diámetros pequeños y mala calidad de las trozas por la excesiva presencia de nudos.

El mayor porcentaje de residuos en el proceso de laminado, de 43,67%, correspondió al “polín” o “rolo”, por la limitación del diámetro de las coronas de sujeción del torno desenrollador.

El 42,86% de láminas obtenidas a partir de las trozas de bolaina, fueron clasificadas como calidad C.

El efecto formulación no tiene una influencia estadísticamente significativa en las propiedades físicas y mecánicas de los paneles compensados producidos con bolaina, lupuna y bolaina/lupuna, lo que permite elegir a las formulaciones de menores costos, B con 35% de contenido de sólidos de la batida para urea-formaldehído y C con 34% de contenido de sólidos de la batida de cola para fenol-formaldehído.

La interacción formulación y especie de la composición de los paneles, si influyen en los resultados de sus propiedades físicas y mecánicas, sobresaliendo, en todos los tratamientos, los mayores valores para los paneles de *Guazuma crinita* Mart.

En base a las comparaciones con *Pinus taeda*, la especie más utilizada comercialmente en Brasil y la Asociación Brasileña de la Industria de la Madera Procesada Mecánicamente (ABIMCI, 2002), los valores medios de MOE y MOR, paralelo y perpendicular para los paneles de bolaina y lupuna, encolados con urea-formaldehído y fenol-formaldehído, pueden ser considerados satisfactorios, teniendo

en cuenta la menor masa específica de bolaina 0,42 g/cm<sup>3</sup> y de lupuna 0,35 g/cm<sup>3</sup>, respecto a la masa específica básica de 0,53 g/cm<sup>3</sup> de *Pinus taeda*.

En base a las comparaciones con *Pinus taeda*, la especie más utilizada comercialmente en Brasil, los datos de la literatura y los requisitos de normas EN 314-1 (CEN, 2004) y EN 314-2 (CEN,1993) para la resistencia de la línea de cola, la especie *Guazuma crinita* Mart. presenta alta viabilidad técnica para la producción de paneles compensados ureicos y fenólicos para uso en interior y exterior, respectivamente.

Continuar con las investigaciones en la fabricación de paneles compensados utilizando láminas de *Guazuma crinita* Mart. y de preferencia con resina fenol-formaldehído, analizando nuevas variables de estudio como gramaje, presión específica y temperatura, principalmente.

Evaluar las propiedades de los paneles producidos con bolaina *Guazuma crinita* Mart. y de otras especies de densidades básicas similares solas o en combinación y de preferencia para uso en exterior.

En trabajos de investigación similares evaluar la factibilidad técnica y económica en la producción de paneles compensados con bolaina *Guazuma crinita* Mart. y *Lupuna Ceiba pentandra* (L.) Gaertn, solas y en combinación, para uso interior y exterior.

Continuar con las investigaciones sobre la viabilidad técnica de la madera de bolaina *Guazuma crinita* Mart, para la producción de paneles de partículas (MDP), OSB, paneles de fibra (MDF) y paneles encolados lateralmente (EGP), para uso interior y exterior.

## REFERENCIAS

ACEVEDO, M.; KIKATA Y. **Atlas de maderas del Perú**. Lima: Universidad Nacional Agraria La Molina-Perú, Universidad de Nagoya, 1994.

AROSTEGUI, A. **Recopilación y análisis de estudios tecnológicos de maderas peruanas**. Lima: Documento de trabajo N° 2, Proyecto PNUD/FAO/PER/81/002, 1982.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE MADEIRA PROCESADA MECANICAMENTE (ABIMCI). **Catálogo técnico de compensados de pinus**. Curitiba, 2002. 16 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE MADEIRA PROCESADA MECANICAMENTE. **Secagem de serrados e lâminas de madeira**. Artigo Técnico N° 27, Curitiba, 2004. 7p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 9486**: Compensado: determinação da absorção de água. Rio de Janeiro, 2011c.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 9535**: Compensado: determinação da em espessura e inchamento mais recuperação em espessura. Rio de Janeiro, 2011d.

ALBUQUERQUE, C. E. C; LATORRACA, J.V. F. Adesivos. **Revista da madeira**, edição n°88, mar. 2005.

ALMEIDA, N. F; BORTOLETTO JUNIOR, G; MENDES, R. F; SURDI, P. G. Produção e avaliação da qualidade de lâminas de madeira de um híbrido de *Pinus elliotii* var. *elliotii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis*. **Floresta e Ambiente**, v. 21, n. 2, p:261-268, 2014.

ALMEIDA, R.R.; BORTOLETO JR., G.; JANKOWSKY, I. P. Produção de lâminas a partir da madeira de clones do híbrido *eucalyptus grandis* x *eucalyptus urophylla*. **Scientia Forestalis**. n.65, p. 49-58, jun. 2004.

AKZO NOBEL PERÚ S.A.C. **Información del producto: Polímero 66DO (fenol-formaldehído)**. Casco Adhesives. Medellín, 2017a.

AKZO NOBEL PERÚ S.A.C. **Información del producto: Polímero 230 (úrea-formaldehído)**. Casco Adhesives. Medellín, 2017b.

BALDWIN, R. F. **Plywood manufacturing practices**. San Francisco: Miller Freeman, 1981.

BALTAZAR, D. **Propiedades físicas de Bolaina blanca (Guazuma crinita Martius) en una plantación de cuatro años en la localidad de Itahuania – Provincia del Manú**. 2012. 92 p. Tesis (Título de Ing. En Recursos Naturales Renovables). Facultad

de Recursos Naturales Renovables. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo Maria. 2012.

BEDNARCZUK, E. **Produção de lâminas e painel compensado multilaminado com madeira de *Hovenia dulcis* Thunberg (uva-do-japão)**. 2016. 84p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestal) - Universidade Estadual do Centro Oeste, Irati, 2016.

BONDUELLE, G. M; IWAKIRI, S; CHIES, D; MARTINS, D. Factores que influnciam no rendimento em laminação de *Pinus spp*. **Floresta e Ambiente**, v.12, n.2, p. 35 - 41, nov/dez. 2006.

BORTOLETTO JR, G. Avaliação da qualidade da madeira de *Pinus merkusii* para produção de lâminas. **Sci. For.**, Piracicaba, v. 36, n. 78, p. 95-103, jun. 2008.

BUENO, J. Tipos de Pulpa para Papel. **II Symposium de la Industria de Pulpa y Papel**. UNALM. Asociación Peruana de Pulpa y Papel. Lima. 238. 1990.

CESPEDES, M. Especies maderables poco utilizadas - Oferta potencial para la cadena de valor de pisos con enfoque en el mercado de Alemania. Lima: GIZ ProAmbiente. (2015)

EGO, L.; DOMINGUEZ, G.; CHUQUICAJA, C. Evaluación técnica y económica de plantaciones de bolaina blanca (***Guazuma crinita* Mart.**) en zonas inundables del río Aguaytía. Revista Forestal del Perú. Vol. XXV (1-2). 2002.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **EN 310:1993**: Wood based paneles - Determination of modulus of elasticity and modulus of rupture in estatic bending and of bending strength. Brussels. 1993.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **EN 314-1:2004** Plywood – Plywood Bonding quality. Parte 1: Test methods. Brussels. 2004.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **EN 314-2:1993**: Plywood – Determination of shear bonding strength. Parte 2: Test. Brussels. 1993.

FLORES, Y. Árboles nativos de la Región Ucayali. Estación Experimental Agraria Pucallpa, Perú. 2018

FRENCH, G. Diseño y Operación de Plantas Productoras de Tableros Contrachapados. MIISTERIO DE INDUSTRIA, COMERCIO, TURISMO e INTEGRACIÓN (MICTI). Lima, 1977.

INSTITUTO DE INVESTIGACION DE LA AMAZONIA PERUANA – IIAP. Evaluación económica de regeneración natural y de plantaciones de bolaina blanca (***Guazuma crinita* Mart.**), en el departamento de Ucayali. Avance económicos N° 11. 1° Edición. Iquitos. Consultado el 28 ene. 2016. Formato PDF. Disponible en: <http://www.iiap.org.pe/cdpublicaciones2011/documentos/pdf/analisis/11.pdf>. 2009

INSTITUTO NACIONAL DE LA CALIDAD - INACAL. **NTP 251.011**. Madera. Método para determinar la densidad. Lima, 2014.

INSTITUTO NACIONAL DE LA CALIDAD - INACAL. **NTP 251.040**. Madera. Tableros de madera contrachapados. Clasificación por sus caras. Lima, 2010.

INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIÓN AGRARIA - INIA. **Comportamiento fenológico preliminar de Bolaina en la provincia de San Martín, región San Martín**. Dirección de Desarrollo Agrario. Estación Experimental Agraria "El Porvenir". San Martín. Hoja divulgativa N° 001-2016, p. 2, 2016.

INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIÓN AGRARIA – INIA, INTERNATIONAL TROPICAL TIMBER ORGANIZATION - IITO. Manual de identificación de especies forestales de la Subregión Andina. INIA/ Proyecto de identificación y nomenclatura de las maderas tropicales comerciales de la Subregión Andina. Lima. 1996.

INTERAMNENSE, M. T. **Utilização das madeiras de *Eucalyptus cloeziana* (F. Muell), *Eucalyptus maculata* (Hook) e *Eucalyptus punctata* DC var. *punctata* para a produção de painéis compensados**. 1998. 81 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1998.

IBÉRICO, J. Desarrollo del Sector Forestal Banco Central de Reserva del Perú. Rev. Moneda 154 (6): 28-32. Lima. 2014.

IWAKIRI, S. **Paineis de Madeira Reconstituída**. Curitiba: FUPEF, 2005.

IWAKIRI, S.; CASTRO, S. J.; MOREIRA, DS. J. R.; ALVES, C. R.; PUEHRINGER, C. A. Produção de compensados de *Pinus taeda* L. e *Pinus oocarpa* Schiede com diferentes formulações de adesivo uréia formaldeído **Revista Árvore**, Viçosa-MG. v. 26, n. 3, p. 371 - 375, 2002a.

IWAKIRI, S.; MATOS, J.L.M.; LIMA, A.J.M.; FERREIRA, E.S.; BATISTA, D.C.; ROMÃO, S.A.A. Produção de painéis compensados de *Pinus* tropicais colados com resina fenol-formaldeído. **Revista Floresta**, Curitiba, PR. v.39, n.3, p. 669-673, 2009.

IWAKIRI, S.; VARGAS, C. A.; PARCHEN, C. F. A.; WEBER, C.; BATISTA, C. C.; GARBE, E. A.; CIT, E. J.; PRATA, J. G. Avaliação da qualidade de painéis compensados produzidos com lâminas de madeira de *Schizolobium amazonicum*. **Revista Floresta**, Curitiba, PR. v. 41, n. 3, p. 451 - 458, 2011.

IWAKIRI S.; BAYESTORFF A.; PRATA, J. G.; LEITE, R.; GOMES, V.; KAZMIERCZAK, S.; PINHEIRO E.; RANCATTI H.; SANCHES, F.L. Produção de painéis compensados com lâminas de madeira de *Sequoia sempervirens* e resina uréia-formaldeído. **Revista Floresta**, Curitiba, PR. v. 42, n. 4, p. 809 - 816, 2012a.

IWAKIRI S.; SANCHES F. G.; POTULSKI, D. C.; DA SILVA, J. B.; DE ANDRADE, M.; MARCHESAN, R. Avaliação do potencial de uso de espécies de pinus tropicais e eucalipto na produção de painéis compensados uréicos. **Revista Floresta**, Curitiba, PR. v. 42, n. 2, p. 277 - 284, 2012b.

IWAKIRI S.; BAYESTORFF A.; TRIANOSKI R.; LEITE, R.; GOMES, V.; GOMES V.; KAZMIERCZAK, S.; PINHEIRO E.; RANCATTI H.; SANCHES, F.L. Produção de painéis compensados fenólicos com lâminas de madeira de *Sequoia sempervirens*. **Floresta e Ambiente**, v. 20, n. 2, p. 264 - 270, 2013.

IWAKIRI, S.; RAZERA, A.; DE ALMEIDA, B.; PETRO, C.; WEBER, C.; CHIES, D.; PRATO, F.; FRANZONI, J.A.; RIGATTO, P.A.; BETTEGA, W.P. Avaliação da qualidade do fenólico de *Eucalyptus grandis*. **Ciência Florestal**, v. 16, n. 4, p. 437-443, 2006.

IWAKIRI S.; DEL MENEZZI C.H.S.; LAROCA, C.; VENSON I, MATOSKI, S.S. Produção de compensados de *Pinus taeda* *Pinus oocarpa* com resina fenol-formaldeído. **Cerne**, 2002b; 11(2): 092-097.

JANKOWSKI, I. P. **Manufactura de painéis compensados com madeira de Eucalyptus spp**: Resultados preliminares. Piracicaba: IPEF. 1979. 4 p.

KOLLMANN, F.; KENZI, P.; STAMM, A.; **Principles of wood science and technology II**. Wood based materials, 703p. New York, USA, 1975.

LUTZ, J. **Wood veneer: log selection, cutting and drying**. Canada Forest Products Technology. Forestry Products Laboratory. Madison, US. 1978.

MACHADO, J.F.; HILLIG, E.; WATZLAWICK, L. F.; BETNARCZUK, E.; TABARES, E. L. Produção de Paneles Compensados para uso exterior con maderas de paricá y embaúba. **Revista Árvore**, Viçosa-MG. v. 42, n. 4, p.1 - 7, 2018.

MARRA, A. A. **Technology of wood bonding: principles in practice**. New York. 1992.

MIGUEL, C. M.; IWAKIRI, S.; TRIANOSKI, R.; GONZALES, M. H.; MIGUEL, C. C. Producción de tableros de partículas con Bolaina (*Guazuma crinita* Mart) procedente de una plantación de cuatro años. **Ciência da Madeira (Brazilian Journal of Wood Science)**, 10(2): 197-204, 2019.  
DOI: 10.12953/2177-6830/rcm.v10n3p197-204.

MIGUEL, C. Elaboración de Tableros de Partículas con Bolaina (*Guazuma crinita* Martius) perteneciente a una plantación de cuatro años (Tesis para optar el título de Ingeniero Forestal). Universidad Nacional Agraria La Molina. 2013.

MINAM – MINISTERIO DEL AMBIENTE. **Mapa nacional de cobertura vegetal**. Memoria descriptiva. Lima. 2015.

OIT - ORGANIZACIÓN INTERNACIONAL DEL TRABAJO. Investigación de Acción para promover mejores condiciones de trabajo en el sector madera y muebles: Estudio de delimitación. Lima. 2016.

POBLETE, W. H. **Tableros de Partículas. Valdivia.** Chile. 177 p, 2001.

PRATA, J. G. **Desempenho de um sistema de qualidade em uma fábrica de painéis compensados.** Dissertacao (Mestrado). Universidad Federal de Parana. Curitiba. 2006.

PROGRAMA NACIONAL DA QUALIDADE DA MADEIRA - PNQM. Parámetros para compensados de madeira tropical e Pinus PNQM-CT e PNQM-CP. Rev. O5. 2009.

PINTO, J. A.; IWAKIRI, S., Estudo sobre a viabilidade do uso da madeira de —*Cryptomeria japonicall* para produção de painéis compensado. **Sci. For.**, Piracicaba, v. 41, n. 97, p. 029-037, mar. 2013.

PUTZEL, L.; CROKLETON, P.; LARSON, A.; PINEDO-VÁSQUEZ, M.; SALAZAR, O; SEARS, R. Producción y comercialización de bolaina blanca (***Guazuma crinita Mart.***), una especie amazónica de rápido crecimiento. Programa sobre investigación de bosques, árboles y agroforestería. N° 25. CIFOR (Centro para la Investigación Forestal Internacional). Consultado el 16 de ene. 2016. Formato PDF. Disponible en [www.cifor.org/publications/pdf\\_files/infobrief/4483-infobrief.pdf](http://www.cifor.org/publications/pdf_files/infobrief/4483-infobrief.pdf). 2013.

REYNEL, C.; PENNINGTON, T. D.;PENNINGTON, R. T.; FLORES, C.; DAZA, A. **Árboles útiles de la Amazonía peruana y sus usos. Um manual com apuntes de identificação, ecologia y propagación de espécies.** Lima: DARWIN INITIATIVE Proyect 09/17 – International Center for Reserch in Agroforestry (ICRAF). Ed. Tarea Asociación Gráfica Educativa, 2003.

SELLERS, T. Plywood and adhesive technology. New York. 1992.

SERFOR – SERVICIO NACIONAL FORESTAL Y DE FAUNA SILVESTRE. Plan Operativo Institucional. Año Fiscal II –Semestre-2014.Disponible: [http://www.serfor.gob.pe/archivos/transparencia/RDE%20N%C2%B0%20015-2014-SERFOR\\_POI%202014.pdf](http://www.serfor.gob.pe/archivos/transparencia/RDE%20N%C2%B0%20015-2014-SERFOR_POI%202014.pdf) (acceso 17-09-16). 2014.

SERFOR – SERVICIO NACIONAL FORESTAL Y DE FAUNA SILVESTRE . Mapa de Bosques de Producción Permanente. Disponible en: <http://sinia.minam.gob.pe/mapas/mapa-bosques-produccion-permanente-agosto-2015> (acceso 17-09-2016). 2015.

SERFOR – SERVICIO NACIONAL FORESTAL Y DE FAUNA SILVESTRE. Anuario: **Perú Forestal en Números 2015.** Ministerio de Agricultura y Riego- MINAGRI. Lima. 2016.

SILVA, G.A.; MENDES, L. M.; TRUGILHO, P. F.; SANTOS, I. F.; PADUA, F. A. Efeito de algumas variáveis de processamento nas propriedades físicas de painéis de madeira de partículas alongadas. **Ciência Florestal**, v. 16, n. 1, p.51 - 60, 2006.

TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRIA, **TAPPI T 252** om-16: pH an electrical conductivity of water extracts of pulp, paper, and paperboard. Atlanta, 2016b.

TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRIA, **TAPPI T 204** cm-17: Solvent extractives of Wood and Pulp. Atlanta, 2017.

TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRIA, **TAPPI T 211** om-16: Ash in wood, pulp, paper, and paperboard – combustion at 525° C. Atlanta, 2016a.

TRIANOSKI, R.; IWAKIRI, S.; MATOS, J.L.M.; RIOYEI, A.; LEITE, R. Avaliação das propriedades de painéis compensados de *Melia azedarach* L. produzidos com diferentes gramaturas e tempos de prensagen. **Revista Árvore**, Viçosa-MG., v. 39, n. 4, p. 759 - 768, 2015.

TSOUMIS, G. Science and technology of wood. New York: Chapman & Hall, 1991.

UMAÑA, C. L. A, BRITO, E. O. Cozimento da madeira altera a qualidate das lâminas, *Revista da Madeira*, nº 78 – ano 13- fevereiro. 2004.

VERGARA, J. L. Claves de Identificación Anatómica de nueve especies de Bonbacacea de la Unidad Experimental de Dantas. 1992. 158 p. Tesis para obter el título de Ingeniero Forestal. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú. 1992.

WIGHTMAN, K. E; CORNELIUS, J. P.; UGARTE-GUERRA, L.J. AG. **¡Plantemos madera! Manual sobre el establecimiento, manejo y aprovechamiento de plantaciones maderables para productores de la Amazonía peruana.** International Centre for Research in Agroforestry (ICRAF). Technical Manual n. 4. p. 193, 2006.

ZAVALA, Z. D; VALDIVIA, R. Transferencia de calor y su efecto em el processo de prensado de tableros contrachapados. **Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente.** 10(1); 43-49, 2004.