

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES



**RESISTENCIA AL CIZALLAMIENTO DE LA LÍNEA DE
COLA EN MADERA DE TORNILLO (*CEDRELINGA
CATENIFORMIS* DUCKE) PROCEDENTE DE
PLANTACIONES EN LA ZONA DE UCAYALI-PERÚ**

Presentado por:

Alvaro Guerra Miranda

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO FORESTAL

Lima - Perú
2015

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Los Miembros del Jurado que suscriben, reunidos para calificar la sustentación del Trabajo de Tesis, presentado por el ex-alumnode la Facultad de Ciencias Forestales, Bach. **ALVARO GUERRA MIRANDA**, intitulado “**RESISTENCIA AL CIZALLAMIENTO DE LA LÍNEA DE COLA EN MADERA DE TORNILLO (*CEDRELINGA CATENIFORMIS* DUCKE) PROCEDENTE DE PLANTACIONES EN LA ZONA DE UCAYALI-PERÚ**”.

Oídas las respuestas a las observaciones formuladas, lo declaramos:

.....

con el calificativo de

En consecuencia queda en condición de ser considerado APTO y recibir el título de **INGENIERO FORESTAL**.

La Molina, 3 de Agosto de 2015

.....
Mg. Sc. Miguel Melendez Cardenas
Presidente

.....
Mg. Sc. Leonidas Miguel Castro
Miembro

.....
Mg. Sc. Julio Cesar Canchucaja
Miembro

.....
Ing. Neptali Rodolfo Bustamante Guillén
Asesor

DEDICATORIA

A Dios

A mi abuelita Leonor

A mi hermana Ángela

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento:

A los profesores Neptalí Bustamante Guillen (mi patrocinador) y Miguel Meléndez Cárdenas por el apoyo, orientación, consejos y tiempo brindado para la realización de mi tesis.

Dr. Enrique Gonzáles Mora y a la Lic. Deysi Guzmán Loayza por el apoyo, ayuda y consejos brindado en el Laboratorio de Pulpa y Papel.

Al profesor Moisés Acevedo, Aldo Cardenas Oscanoa y Sr. Vicente Cuba por su colaboración en la realización de los ensayos en el laboratorio de Propiedades Físicas y Mecánicas de la Madera.

A los profesores Martín Araujo, Florencio Trujillo, Leonidas Miguel Castro, Julio Canchucá por compartir sus conocimientos y recomendaciones sobre el tema.

A mis familiares Rosario, Fredy, Beto, Tati, Angi, Lida, Juan Carlos, Liliana, Demetrio por el apoyo, paciencia y confianza para la realización de la tesis.

A mis amigos Dogui Farje, Dianita Portocarrero, Anita Becerra.

A mis compañeras de laboratorio de pulpa y papel: Katty Lazaro, Cindy Narvaez, China Andrea y Janeth Huasasquiche.

Al personal de Cedinfor: Angi y Sra. Nery.

A todas aquellas personas que de manera directa o indirecta contribuyeron a la realización y término de esta investigación.

RESUMEN

Se determinó la resistencia al cizallamiento de la línea de cola en uniones encoladas con polivinilo (PVA) en Tornillo (*Cedrelingacateniformis*Ducke), utilizando un encolado doble, dos presiones de prensado (5 y 10 kg/cm²) y tres extendidos (150,200 y 250 g/m²). Los resultados muestran que la resistencia de la unión encolada alcanza valores ligeramente inferiores a los de la madera sólida. Asimismo, el incremento de la presión de prensado y el extendido de cola tienen un efecto favorable en la resistencia al cizallamiento en Tornillo de Campo Abierto. Además, la variación de la presión de prensado y el extendido de cola no tienen influencia sobre la resistencia al cizallamiento de Tornillo en Fajas de 5 m. Finalmente, las condiciones que permiten obtener uniones con una mayor resistencia y mayor porcentaje de madera fallada son: una presión de encolado de 10kg/cm²para Tornillo de Fajas y Campo abierto; y un extendido de 150y 200g/m² para Fajas y Campo abierto, respectivamente.

Palabras claves: Encolado, resistencia al cizallamiento, Tornillo, madera fallada, extendido del adhesivo, presión.

ÍNDICE GENERAL

	Página
I. Introducción	1
II. Revisión de Literatura	3
1. Características generales de la especie	3
2. Ensayos de uniones encoladas	5
3. Aspectos básicos sobre la teoría de la adhesión	6
3.1. Adhesivo	6
3.2. Adhesión.....	7
3.3. Teoría de la adhesión.....	7
4. Factores que influyen en una unión adhesiva	8
4.1. De la madera	8
4.1.1. Densidad	8
4.1.2. Contenido de humedad.....	8
4.1.3. Calidad de la superficie.....	9
4.1.4. Extractivos.....	10
4.2. Del adhesivo.....	11
4.2.1. Tiempo abierto.....	11
4.2.2. Viscosidad.....	11
4.2.3. Humectabilidad.....	11
4.2.4. Contenido de sólidos	11
4.2.5. Aplicación y espesor de la capa de adhesivo	12
4.2.6. Presión.....	12
III. Materiales y Métodos	13
1. Lugar de ejecución	13
2. Procedencia del material experimental	13
3. Adhesivo	13
4. Equipos y herramientas	14
5. Metodología y procedimiento	15
5.1. Verificación de la especie.....	15
5.2. Determinación del contenido de humedad de la madera	15
5.3. Determinación del contenido de humedad de equilibrio de la molina.....	15
5.4. Preparación y dimensionamiento de las probetas.....	15
5.5. Evaluación de la superficie de la madera.....	16
6. Determinación del porcentaje de extractivos de la madera	17
7. Evaluación del adhesivo pva	17
8. Proceso de encolado y preparación de probetas	17
9. Ensayos de resistencia al cizallamiento de la línea de cola	20
10. Determinación de la resistencia al cizallamiento en la línea de cola	21
11. Estimación del porcentaje de madera fallada	21
12. Evaluación de la unión encolada	21
13. Análisis estadístico	22
IV. Resultados y Discusión	25
1. Evaluaciones preliminares	25
2. Resistencia al cizallamiento en la línea de cola	26
3. Variabilidad de la resistencia al cizallamiento en la línea de cola	28
4. Análisis estadístico	28

4.1.	Estadística descriptiva.....	28
4.2.	Diseño experimental.....	29
5.	Evaluación de la unión encolada	32
6.	Rugosidad superficial para tornillo de fajas a 5 m y campo abierto.....	35
V.	Conclusiones.....	36
VI.	Recomendaciones	37
VII.	Referencias Bibliográficas	39
VIII.	Anexos.....	43

Índice de tablas

	Página
Tabla 1: Propiedades Físico-Mecánicas de la madera Tornillo según procedencia.	4
Tabla 2: Componentes químicos de la madera Tornillo.....	5
Tabla 3: Valores de rugosidad superficial para diferentes especies según condición de trabajabilidad.	10
Tabla 4: Codificación de árboles de Tornillo según Tratamiento Silvicultural.....	13
Tabla 5: Distribución del número de probetas según Tratamiento Silvicultural.....	15
Tabla 6: Condiciones del proceso de encolado.....	20
Tabla 7: Tabla para evaluación de uniones encoladas: Resistencia relativa vs. Madera fallada, en porcentaje	21
Tabla 8: Evaluaciones preliminares en la madera y el adhesivo PVA.	25
Tabla 9: Variabilidad de la Resistencia al Cizallamiento en la línea de cola para Tornillo de Fajas y Campo abierto empleando diferentes condiciones de encolado según tratamiento.	28
Tabla 10: Estadística descriptiva de ensayo en resistencia al cizallamiento de la línea de cola para madera Tornillo según sistema silvicultural.	29
Tabla 11: Análisis de variancia para el ensayo de resistencia al cizallamiento en la línea de cola para madera Tornillo en Fajas a 5m.	30
Tabla 12: Análisis de variancia para el ensayo de resistencia al cizallamiento en la línea de cola para madera Tornillo en Campo Abierto	30
Tabla 13: Prueba de Tuckey para el ensayo de resistencia al cizallamiento en la línea de cola para madera Tornillo en Campo Abierto	32
Tabla 14: Evaluación de las uniones encoladas para madera Tornillo según tratamiento silvicultural.....	33
Tabla 15: Valores de rugosidad superficial para madera Tornillo según sistema silvicultural.....	35

Índice de figuras

	Página
Figura 1: Fuerzas que permiten el fraguado del adhesivo en el encolado de la madera	8
Figura 2: Medición de la rugosidad con el rugosímetro digital.....	16
Figura 3: Distribución de los puntos de lectura de la rugosidad superficial.....	16
Figura 4: Proceso de encolado de listones.....	18
Figura 5: Proceso de prensado de listones.....	18
Figura 6: Diagrama de flujo del proceso de encolado para el ensayo de cizallamiento en la línea de cola.....	19
Figura 7: Dimensiones de las probetas para el ensayo de cizallamiento en la línea de cola	20
Figura 8: Promedios de resistencia al cizallamiento de la línea de cola y de madera fallada para la madera Tornillo en Fajas de 5 m según tratamiento.....	27
Figura 9: Promedios de resistencia al cizallamiento de la línea de cola y de madera fallada para la madera Tornillo en Campo Abierto según tratamiento.	27
Figura 10: Fallas de uniones encoladas en madera Tornillo para Fajas de 5 m y Campo abierto	34

Índice de anexos

	Página
Anexo 1 Datos técnicos del adhesivo empleado	43
Anexo 2 Constancia de identificación de las especies estudiadas	45
Anexo 3 Condiciones ambientales de la unalm	46
Anexo 4 Contenido de humedad de la madera en equilibrio con la temperatura y humedad relativa indicada	47
Anexo 5 Contenido de humedad de equilibrio en la molina durante la fase experimental	48
Anexo 6 Valores unitarios de los ensayos de resistencia al cizallamiento en la línea de cola y porcentaje de madera fallada para fajas a 5 m	49
Anexo 7 Valores unitarios y promedios de los ensayos de resistencia al cizallamiento en la línea de cola y porcentaje de madera fallada para campo abierto	51
Anexo 8 Valores promedios de resistencia al cizallamiento en la línea de cola y porcentaje de madera fallada para fajas y campo abierto	53
Anexo 9 Análisis estadístico de la resistencia al cizallamiento	54
Anexo 10 Evaluación de las uniones encoladas para madera tornillo de fajas y campo abierto	55
Anexo 11 Evaluaciones previas al proceso de encolado	56
Anexo 12 Condiciones de encolado empleados	59
Anexo 13 Datos técnicos del adhesivo empleado por brandan (1991) y gonzáles (2006)	60
Anexo 14 Valores de resistencia al cizallamiento y porcentaje de madera fallada	61
Anexo 15 Valores de resistencia al cizallamiento y porcentaje de madera fallada	62
Anexo 16 Caracterización de datos	63

I. INTRODUCCIÓN

En el Perú existen plantaciones forestales experimentales que se constituyen en fuente de conocimiento para el establecimiento de cultivos que permitan abastecer de materia prima la industria forestal. Actualmente, existe una creciente demanda de madera Tornillo (*Cedrelingacateniformis*Ducke) en el mercado nacional por sus características y aptitudes de uso; lo cual trae consigo la disminución de las poblaciones de esta especie en los bosques naturales.

Las plantaciones forestales de Tornillo en el Centro Experimental Alexander Von Humboldt reportan buenos resultados de crecimiento y productividad (Flores *et al.*, 2004). De la misma manera, para Tornillo de 20 y 22 años en Fajas y Campo Abierto, Villa (2009) y Vega (2011) recomiendan el uso de la madera de esta especie en mueblería y carpintería no estructural.

Por lo cual, es necesario complementar los estudios realizados en la madera Tornillo procedente de plantaciones experimentales del bosque Alexander Von Humboldt, determinando la resistencia de uniones encoladas, con la finalidad de potenciar una mejor utilización de la madera Tornillo para la industria del mueble.

Las uniones encoladas con adhesivo PVA (acetato de polivinilo) se usan frecuentemente en la industria de muebles, aunque sin ningún sustento técnico. Por ejemplo, es común estimar: el extendido en una o ambas caras, la presión y el tiempo de prensado, entre otros factores; de tal manera, que la garantía de un buen ensamble depende de la experiencia del operario.

En la presente investigación se determinó la resistencia al cizallamiento de la línea de cola con PVA en madera Tornillo procedente de plantaciones de 20 y 22 años bajo dos tratamientos silviculturales en la zona de Ucayali-Perú. De la misma manera, se determinaron las mejores condiciones de encolado que satisfagan requisitos de resistencia y calidad según tratamiento silvicultural.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

1. CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA ESPECIE

Familia : Fabaceae

Nombre científico : *Cedrelingacateniformis*(Ducke) Ducke

Nombres comunes : “Tornillo”, “Pino peruano”, “Cedro hasha”, “Huayracaspi”, “Aguano” (Perú); “Cedrorana”, “Lacaiaca”, “Paric” “Yacayac” (Brasil); “Don cedar” (Surinam); “Guaura”, “Cahicana” (Venezuela).

Sinónimos botánicos : *Piptadeniacatenaeformis*, *Pithecellobiumcatenaeformis*.

Según Acevedo y Kikata (1994) la madera Tornillo es de porosidad difusa. Los poros son visibles a simple vista, solitarios de forma redonda y múltiples radiales escasos de 2-4; con 1 a 5 poros/mm². El parénquima es visible con lupa 10x, de tipo paratraquealvasicéntrico. Los radios son homogéneos y uniseriados visibles con lupa 10x, con 5 a 11/mm, no estratificados, con presencia de inclusiones gomosas, con una altura entre 240 y 350 μm . Asimismo, mencionan que sus vasos tienen un diámetro tangencial que varía entre 293 a 333 μm y la longitud entre 412 y 430 μm . Poseen platina de perforación horizontal con perforación simple. Punteado intervascularalerno con punteaduras redondas y abertura inclusa. Punteado radiovascular similar al intervascular. Presencia de inclusiones gomosas. Las fibras son libriformes no estratificadas. El diámetro total es 24 μm , el grosor de pared celular 3 μm y la longitud varía entre 1443 y 1454 μm .

Aróstegui (1982) afirma que la madera Tornillo es de excelente calidad; el duramen recién cortado es rosado claro y la albura blanco amarillenta; cuando seca, el duramen es de color claro castaño pálido, marcado con líneas de color oscuro que destacan sobre el fondo más claro; de grano recto a entrecruzado y de textura gruesa. El duramen es poco susceptible al ataque de agentes biológicos.

Flores *et al.*, (2004) indica que, en plantaciones experimentales en el Bosque Nacional Alexander von Humboldt, los resultados obtenidos a 20 años de edad muestran el gran potencial de Tornillo, como la especie con el mejor crecimiento y productividad tanto en fajas de enriquecimiento como en campo abierto. En plantaciones a campo abiertose determinó un DAP (diámetro promedio a la altura del pecho) de 35,80 cm (IMA 1,96 cm/año), una altura total promedio de 26,40 m (IMA 1,42 m/año), un área basal de 30,35 m²/ha y un volumen promedio de 380,20 m³/ha (IMA 21,40 m³/ha/año), resultados que son muy superiores a los de otras especies nativas.

La madera Tornillo procedente de las plantaciones del Bosque Nacional Von Humboldt, según Villa (2009) y Vega (2011), es de baja densidad y resistencia mecánica (Tabla 1). Ambos autores coinciden en asignarle los siguientes usos: mueblería, carpintería de obra no estructural, cajonería liviana, molduras y revestimiento.

Tabla 1: Propiedades Físico-Mecánicas de la madera Tornillo según procedencia.

PROPIEDADES		UNIDADES	BOSQUE NATURAL		TORNILLO DE 22 AÑOS EN FAJA DE ENRIQUECIMIENTO DE 5 m	TORNILLO DE 20 AÑOS A CAMPO ABIERTO	
			(ARÓSTEGUI, 1982)		(VILLA, 2009)	(VEGA, 2011)	
Físicas	Contenido de humedad	%	14	Saturado	12,00	12,00	
	Densidad básica		-	0,45	0,36	0,41	
	Contracción volumétrica	%	-	10,7	10,34	9,94	
Mecánicas	Flexión Estática	ELP	kg/cm ²	441	349	318,70	381,53
		MOR	kg/cm ²	788	576	496,86	621,26
		MOE x 1000	kg/cm ²	120	108	78,27	91,03
	Compresión paralela		kg/cm ²	386	283	286,11	335,33
	Compresión perpendicular		kg/cm ²	66	57	38,83	46,99
	Dureza	Extremos	kg/cm ²	454	351	409,09	377,38
		Lados	kg/cm ²	379	388	305,62	313,68
	Cizallamiento	Radial	kg/cm ²	89	81	72,73	71,51
Tangencial		kg/cm ²	90,83			85,85	

FUENTE: Elaborado en base a información de Aróstegui (1982), Villa (2009) y Vega (2011).

En cuanto a la trabajabilidad de la madera, Bustamante (2010) recomienda el cepillado con un ángulo de corte de 15° en cualquier velocidad de corte, el moldurado con una velocidad angular de 7440 rpm, el taladrado con una carga de 15 kg en cualquier velocidad de giro y torneado con ángulos de corte de 0° a 15° en cualquier velocidad de giro.

Bueno (1978) reporta los componentes químicos de la madera Tornillo de bosque natural que se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2: Componentes químicos de la madera Tornillo

COMPONENTE	PORCENTAJE (%)
Extractivos (alcohol benceno)	3,61
Extractivos (alcohol)	1,26
Extractivos (agua)	4,26
Celulosa	54,07
Lignina	29,73
Pentosanos	11,60
Cenizas	0,95
Sílice	0,49

FUENTE: Bueno (1978)

2. ENSAYOS DE UNIONES ENCOLADAS

Las propiedades de las uniones encoladas, según López (1976), dependen principalmente de las propiedades físico-mecánicas, geometría de la unión y de las condiciones ambientales. En las pruebas de uniones encoladas, además de la madera y el adhesivo, también debe evaluar la técnica de encolado, principalmente la extensión, presión de prensado, temperatura y preparación de la superficie.

Para la madera de Quinilla Colorada (*Humiriastrum excelsum*), Takahashi (1967) encontró una resistencia al cizallamiento de 155,40 kg/cm², alcanzando valores cercanos a los de la madera sólida con el uso de cola caseína, encolado doble (de ambas superficies), extendido de 400 g/m² y presión de prensado 10 kg/cm². De la misma manera, afirma que la resistencia con un encolado doble es mayor que con el encolado simple a un mismo gramaje. El mismo autor agrega que una alta dureza de lados dificulta la aplicación uniforme de la presión de prensado, recomendando el encolado de superficies lisas y libres de ondulaciones o irregularidades.

En ensayos con madera “Asta de Venado” (*Tabebuia capitata*), Acevedo (1973) registró una resistencia al cizallamiento de 160 kg/cm² empleando resorcinol-formaldehído con

presión de prensado de 15 kg/cm^2 y un extendido de 250 g/m^2 , siendo similares los valores de resistencia en el encolado doble y simple.

Según Brandán (1991), empleando la prensa tipo “C”, se obtienen los mejores resultados en maderas de Bombacáceas (*Ceiba samauma*, *Erioteca globosa*, *Matisia bicolor* y *Matisia cordata*) con una resistencia promedio al cizallamiento de $44,70 \text{ kg/cm}^2$ y madera fallada de 62,70 por ciento (ver anexo 14). También reporta valores similares de resistencia para extendidos de cola de 150,200 y 250 g/m^2 .

Gonzales (2006), utilizando un extendido de cola de 150 g/m^2 y una presión de prensado de 10 kg/cm^2 , reportó para el Pino Chuncho (*Schizolobium amazonicum*) una resistencia al cizallamiento de $105,60 \text{ kg/cm}^2$ con 22 por ciento de madera fallada. En el caso de Yanavara (*Pollalestadiscolor*) registró una resistencia al cizallamiento de $133,10 \text{ kg/cm}^2$ con 28 por ciento de madera fallada. Al respecto, la misma autora afirma que existe una relación inversa entre la rugosidad superficial y la resistencia al cizallamiento.

3. ASPECTOS BÁSICOS SOBRE LA TEORÍA DE LA ADHESIÓN

3.1. ADHESIVO

ASTM907-08 (2008) y Blomquist *et al.*, (1981) afirman que un adhesivo es una sustancia capaz de mantener materiales unidos por medio de la adhesión superficial.

Los adhesivos de madera, según Houwink citado por Flores (2006), son dispersiones de sustancias poliméricas macromoleculares que al ponerse en contacto con la superficie de madera o de la celulosa, forman enlaces entre los grupos reactivos del polímero y de la madera o celulosa. A su vez, Frihart y Hunt (2010) mencionan que los adhesivos transfieren y distribuyen cargas entre los componentes, incrementando la resistencia y rigidez de los productos de madera. El adhesivo deber ser aplicado, humedecer la superficie, penetrar dentro de la madera, fraguar y mantener la resistencia por suficiente tiempo, bajo diferentes cargas y condiciones ambientales.

López (2000) menciona que el PVA es el adhesivo termoplástico de uso más frecuente, que requiere dos condiciones para su curado: que el agua sea eliminada de la emulsión por absorción y evaporación; y que el adherente sea necesariamente el absorbente. Brandán (1991) agrega que el PVA es muy usado por los artesanos y en la industria del mueble, porque ofrece una larga vida de uso, un acoplado bastante rápido, facilidad de limpieza del

equipo mezclador y esparcidor, fijación inicial alta, fraguado a temperatura ambiente por simple pérdida de agua y produce una línea de cola traslúcida.

3.2. ADHESIÓN

Es el estado en el cual dos superficies son mantenidas juntas por fuerzas intrasuperficiales, que pueden ser enlaces químicos, acción entrecruzada o ambas (Blomquist *et al.*, 1981). A su vez, Foxcitado por Juros (2009), menciona que la adhesión es causada por la formación de enlaces secundarios (fuerzas de Van der Waals y enlaces de hidrógeno) entre el adhesivo y el sustrato.

3.3. TEORÍA DE LA ADHESIÓN

Henkelcitado por Viveros (2007), menciona que toda materia está constituida por átomos y moléculas, las que están unidas entre sí por fuerzas de naturaleza eléctrica. La técnica del encolado se basa en este principio y utiliza estas fuerzas para crear una unión entre dos cuerpos sólidos. En la unión se manifiestan dos tipos de fuerzas (Figura 1): la fuerza con que el adhesivo se adhiere a la superficie (*adhesión*), y la fuerza con que se unen las moléculas de adhesivo entre sí (*cohesión*). En cuanto a adhesión, se puede distinguir entre la adhesión específica y mecánica.

A) ADHESIÓN ESPECÍFICA

La adhesión específica, según Hernándezcitado por Viveros (2007), se refiere a las fuerzas eléctricas que resultan de la atracción química entre los grupos activos de naturaleza polar de la madera y los grupos activos polares del adhesivo.

B) ADHESIÓN MECÁNICA

Según Hernándezcitado por Viveros (2007), la adhesión mecánica está definida por la forma de unión entre el sustrato y el adhesivo, correspondiendo a un anclaje mecánico del adhesivo en la madera. Esta adhesión se produce cuando el adhesivo se introduce en los poros e irregularidades de la madera de las dos superficies a unir; posteriormente, por fraguado, el adhesivo se convierte en un sólido de gran cohesión, anclado fuertemente en ambas superficies. Según este principio, la calidad del encolado depende de la rugosidad de las superficies, de la cantidad y abertura de elementos vasculares, y su permeabilidad.

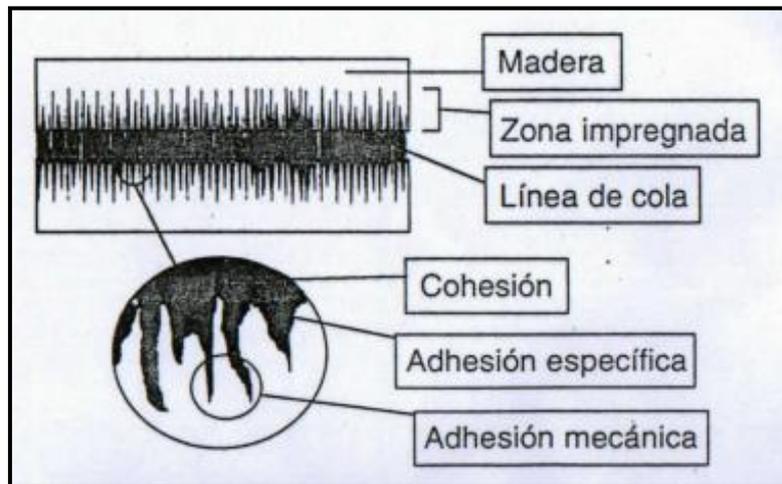


Figura 1: Fuerzas que permiten el fraguado del adhesivo en el encolado de la madera

FUENTE: Poblete (2001)

4. FACTORES QUE INFLUYEN EN UNA UNIÓN ADHESIVA

4.1. DE LA MADERA

La calidad de la unión encolada es afectada por la mayoría de propiedades físicas de la madera, tales como: densidad, porosidad, contenido de humedad y cambios dimensionales (hinchamiento y contracción)(Frihart y Hunt, 2010).

4.1.1. DENSIDAD

Las maderas menos densas presentan una buena adhesión mecánica por el mayor volumen de espacios libres que facilitan la penetración del adhesivo (Foro Forestal Maderero de Bosque y Madera, 2004).

Para las maderas de alta densidad, Frihart y Hunt (2010) señalan que poseen paredes celulares gruesas y diámetros del lumen más pequeños, por lo cual, los adhesivos no penetran fácilmente, limitando el anclaje mecánico. De la misma manera, se requiere de una mayor presión para lograr un buen contacto entre las superficies de madera y el adhesivo.

4.1.2. CONTENIDO DE HUMEDAD

Frihart y Hunt (2010) afirman que el cambio dimensional de la madera tiene un amplio alcance e importantes consecuencias sobre el desempeño de las uniones adhesivas. El daño en la unión adhesiva puede ocurrir cuando el cambio en el contenido de humedad, en piezas adyacentes de madera, tiene diferentes contracciones o hinchamientos. Esto se puede producir cuando las especies son diferentes, existen presencia de albura y duramen, o

presencia de madera juvenil, o diferentes tipos de grano. La tensión generada por los cambios dimensionales puede ser minimizada, uniendo: piezas con similares planos de corte, maderas con bajos valores de contracción y elementos con contenidos de humedad cercanos al equilibrio de servicio.

Los mismos autores afirman que las propiedades óptimas del adhesivo ocurren cuando la madera está entre 6 y 14 por ciento del contenido de humedad. Para maderas con bajos contenidos de humedad, los adhesivos acuosos tienden a secarse cuando se aplican, debido a que la madera absorbe agua del adhesivo tan rápidamente y la penetración en la madera es drásticamente inhibida, incluso bajo alta presión. En el caso de la madera con alto contenido de humedad, también es difícil de unir con adhesivos solubles en agua, debido a que el agua y los elementos de bajo peso molecular del adhesivo migran con mayor dificultad dentro de paredes celulares húmedas que en paredes secas; dejando al adhesivo más líquido y propenso a salir cuando la presión de prensado es aplicada.

4.1.3. CALIDAD DE LA SUPERFICIE

El deterioro físico de la superficie, como cuando las superficies están dañadas (fisuradas o aplastadas) no pueden formar una unión resistente. De la misma manera, las superficies a unir deben estar libres de barnices, exudaciones, grasas, suciedad y otros residuos, los cuales interfieren con el flujo, penetración, fraguado del adhesivo y la resistencia cohesiva de la unión (Frihart y Hunt, 2010).

Con relación a la rugosidad superficial, Blomquist *et al* (1981) señala que cuando la superficie de dos sólidos se juntan, no se encuentran en íntimo contacto, debido a que todas las superficies son rugosas a nivel microscópico. Meléndez y Bustamante (2003) afirman que la rugosidad superficial depende en gran medida de varios factores, entre los cuales destacan: la estructura anatómica, el contenido de humedad, las particularidades de la madera de ciertas especies y árboles, el número de grano de lija, la forma geométrica de las piezas, la velocidad de corte y el afilado de los elementos de corte. Para Frihart y Hunt (2010), cuando superficies altamente rugosas, son unidas, la presión aplicada se distribuirá de manera irregular a lo largo de la línea de unión; como resultado, el adhesivo fluirá de las áreas de muy alta presión a las zonas con menos presión resultando en una línea de cola con espesor muy variable.

En la Tabla 3 se muestran los valores de rugosidad promedio (Ra) obtenidos para diferentes especies según condición de trabajabilidad.

Tabla 3: Valores de rugosidad superficial para diferentes especies según condición de trabajabilidad.

ESPECIE		CARACTERISTICA ANATOMICA		CONDICION	Ra (µm)
N.C	NOMBRE CIENTIFICO	TIPO DE GRANO	TEXTURA		
Cachimbo	<i>Cariniana domestica</i>	Entrecruzado	Media	Lijado (grano 80)	5,23
				Lijado (grano 150)	4,41
				Lijado (grano 320)	4,62
Capirona	<i>Calycophyllum spruceanum</i>	Recto a ligeramente entrecruzado	Fina	Lijado (grano 80)	4,50
				Lijado (grano 150)	3,22
				Lijado (grano 320)	2,01
Copaiba	<i>Copaifera officinalis</i>	Entrecruzado con tendencia a recto	Media y homogénea	Lijado (grano 80)	6,05
				Lijado (grano 150)	4,14
				Lijado (grano 320)	2,95
Lagarto caspi	<i>Calophyllum brasiliense</i>	Entrecruzado	Media	Lijado (grano 80)	8,78
				Lijado (grano 150)	7,02
				Lijado (grano 320)	7,47
Pashaco	<i>Albizia sp</i>	Oblicuo a entrecruzado	Media	Lijado (grano 80)	7,47
				Lijado (grano 150)	6,14
				Lijado (grano 320)	5,78
Pumaquiuro	<i>Aspidospermamacrocarpon</i>	Entrecruzado	Fina	Lijado (grano 80)	7,59
				Lijado (grano 150)	6,72
				Lijado (grano 320)	5,12
Pino Chuncho	<i>Schizolobiumamazonicum</i>	Entrecruzado	Gruesa	Cepillado	11,35
Yanavara	<i>Pollalestadiscolor</i>	Recto	Fina	Cepillado	8,68

FUENTE: Elaborado en base a información de Meléndez y Bustamante (2003), y Gonzales (2006).

4.1.4. EXTRACTIVOS

Sobre los extractivos en la madera, Blomquist *et al.*, (1981) afirma que conforme se incrementa la densidad de la madera o exista presencia de compuestos químicos extraños, la calidad adhesiva del pegamento resultará deficiente. Frihart y Hunt (2010) agregan que los extractivos, tales como resinas y aceites, sobre la superficie de la madera afectan el adecuado humedecimiento y penetración del adhesivo, interfiriendo en el fraguado y polimerización del adhesivo.

4.2. DEL ADHESIVO

4.2.1. TIEMPO ABIERTO

También llamado tiempo de reunión, según Henkel citado por Viveros (2007) se compone de dos partes: *tiempo de reunión abierto*, comprendido entre el esparcido y la unión de los sustratos y *tiempo de reunión cerrado*, entre la unión de los sustratos y la aplicación de las condiciones para el fraguado.

4.2.2. VISCOSIDAD

Frihart y Hunt (2010) afirman que la viscosidad afecta fuertemente el humedecimiento, flujo, penetración, y particularmente la transferencia del adhesivo a las superficies opuestas de madera cuando es aplicada la presión de prensado a la junta. La viscosidad adhesiva depende del tipo de adhesivo, tipo y cantidad de solvente, edad de la mezcla adhesiva y temperatura. Después de la aplicación, la viscosidad del adhesivo cambia dependiendo de la cantidad de: adhesivo aplicado, especie, contenido de humedad y temperatura de la madera, temperatura y humedad del aire y evaporación del solvente. Madrid (1997) agrega que la viscosidad del adhesivo debe ser adecuada a la estructura, geometría y al estado de la superficie. Esto significa que las irregularidades en la superficie deben ser rellenadas con el adhesivo, para asegurar que la totalidad del área a unir participe en la adherencia.

4.2.3. HUMECTABILIDAD

El líquido adhesivo debe “humedecer” la superficie de la madera, fluyendo y penetrando dentro de la madera. Las moléculas del adhesivo tienen que llegar en contacto directo con las moléculas de la madera para proporcionar el mejor anclaje mecánico y atracción intermolecular. Las superficies de la madera pueden parecer ser suaves y planas, pero por ampliación microscópica muestran picos, valles, y pequeñas crestas con fibras levantadas. Tales condiciones de la superficie causan bolsas de aire y obstrucciones que evitan el completo humedecimiento de la unión (Frihart y Hunt, 2010).

4.2.4. CONTENIDO DE SÓLIDOS

Según la norma ASTM D 907-08 (2008), el contenido de sólidos es el porcentaje en peso de la materia no volátil en un adhesivo, que queda luego que la materia volátil ha sido evaporada bajo un ambiente específico o condiciones aceleradas. A su vez se menciona que el contenido de sólidos en un adhesivo varía de acuerdo al procedimiento de análisis, por lo que un método de análisis estándar debe ser usado para obtener resultados consistentes.

Al respecto, la NTP 260.015 (2012) indica que el porcentaje mínimo de sólidos para elaboración de mobiliario escolar es de 48 por ciento.

4.2.5. APLICACIÓN Y ESPESOR DE LA CAPA DE ADHESIVO

Frihart y Hunt (2010) indican que el propósito de extender el adhesivo es distribuir uniforme y adecuadamente el adhesivo sobre el área a unir, para que el pegamento fluya en una capa uniforme y delgada cuando se aplica la presión de prensado. La cantidad de adhesivo requerido dependerá de la especie de madera, calidad de superficie de la madera, contenido de humedad, tipo de adhesivo, temperatura y humedad del aire, tiempo de ensamble, y aplicación del adhesivo a una o ambas superficies.

Vignote (2000) menciona que el extendido de adhesivo para adhesivos PVA oscila entre 140 y 200 g/m², lo cual coincide con Carrasco citado por Viveros (2007) el cual agrega que una buena unión no va ligada a una gran cantidad de adhesivo aplicado, recomendando un extendido de 150 a 200 g/m². Asimismo menciona que las uniones de poco espesor, además de ahorrar adhesivo, otorgan una mayor resistencia en la unión, menos riesgos de coloraciones y un fraguado más rápido.

4.2.6. PRESIÓN

Frihart y Hunt (2010) mencionan que la presión de prensado ayuda al adhesivo a penetrar en la superficie de la madera forzándolo a fluir sobre las superficies, desplazando bloques de aire atrapado en la junta, y penetrando dentro de los espacios vacíos de la madera para una efectiva adhesión superficial y anclaje mecánico. También la presión sirve para sujetar la junta en posición mientras ocurre el fraguado del adhesivo. Elevadas presiones de prensado (encima de 17 kg/cm²), son requeridas para maderas de mayor densidad, las cuales son difíciles de comprimir. Excesivas presiones de prensado pueden forzar al adhesivo a salir de la unión encolada, dejando una cantidad insuficiente en la línea de cola. Estas condiciones de pérdidas por escurrimiento resultan en una junta con insuficiente cantidad de adhesivo para producir una unión de buena resistencia. Por otro lado, las bajas presiones de prensado (cerca de 7 kg/cm²) son adecuadas para maderas de baja densidad, porque las superficies fácilmente se acomodan una con otra, asegurando el íntimo contacto entre el adhesivo y la madera.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

1. LUGAR DE EJECUCIÓN

La presente investigación se realizó en los Laboratorios de Propiedades Físicas y Mecánicas de la Madera, y de Pulpa y Papel del Departamento de Industrias Forestales de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Nacional Agraria La Molina.

2. PROCEDENCIA DEL MATERIAL EXPERIMENTAL

El material experimental procede de las plantaciones de 20 y 22 años del Bosque Nacional “Alexander Von Humboldt”, ubicadas en el kilómetro 86 de la Carretera Federico Basadre, perteneciente a la región Ucayali. En la selección y colección de las muestras de madera se empleó la norma ASTM D5536-94 (2004).

Se seleccionaron listones de cinco (5) árboles diferentes (Tabla 4) bajo los tratamientos silviculturales de Fajas de enriquecimiento y Campo abierto.

Tabla 4: Codificación de árboles de Tornillo según Tratamiento Silvicultural

TRATAMIENTO SILVICULTURAL	CODIGO DEL ÁRBOL
Campo Abierto	10 - F3
	9 - F6
	12 - F4
	8 - F3
	9 - F9
Fajas de 5 m	268 - 1
	268 - 2
	930
	274
	289

FUENTE: Elaboración propia

3. ADHESIVO

El adhesivo utilizado es acetato de polivinilo (PVA). La información técnica del adhesivo se detalla en el Anexo 1.

4. EQUIPOS Y HERRAMIENTAS

- Prensa de ensayos universal “TiniusOlsen” de 10 lb y accesorios de cizallamiento
- Prensa marca CIMPA de 0,5 t
- Rugosímetro digital Mitutoyo de 0,01 μ m
- Viscosímetro por corte rotacional Brookfield RVF.
- Extractor Soxhlet
- Estufa eléctrica “Mettler” de 2 °C
- Estufa eléctrica de 220 °C
- Balanza analítica Ohausde 0,0001 g.
- Vernier digital de 0,01 mm
- Termómetro de 1°C
- Sierra Circular Skil 5401
- Amoladora Angular 4 1/2” GWS 7-115 ET
- Laptop marca Acer (modelo Aspire 4739)
- Impresora multifuncional EPSON TX115 series
- Lápices de cera
- Lupa de 10x

5. METODOLOGÍA Y PROCEDIMIENTO

5.1. VERIFICACIÓN DE LA ESPECIE

La verificación de la especie se realizó en el Laboratorio de Anatomía de la madera del Departamento de Industrias Forestales de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM)(Anexo 2).

5.2. DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA MADERA

Se determinó el contenido de humedad de la madera a través del método de estufa hasta alcanzar peso constante, según Norma Técnica Peruana NTP 251.010 (2004).

5.3. DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD DE EQUILIBRIO DE LA MOLINA

Se determinó el contenido de equilibrio de humedad de equilibrio en base a las condiciones ambientales registradas por la estación meteorológica Von Humboldt y la tabla de Contenidos de humedad de la madera en equilibrio con la temperatura y humedad relativa indicadas que se presentan en el Anexo 4.

5.4. PREPARACIÓN Y DIMENSIONAMIENTO DE LAS PROBETAS

Las probetas para el ensayo se obtuvieron a partir de los listones de 5 x 5 x 120cm, de acuerdo a lo especificado en laTabla 5.

Tabla 5: Distribución del número de probetas según Tratamiento Silvicultural

TRATAMIENTO SILVICULTURAL	CÓDIGO DEL ARBOL	NÚMERO DE PROBETAS
Campo Abierto	10 - F3	12
	9 - F6	12
	12 - F4	12
	8 - F3	12
	9 - F9	12
Fajas de 5 m	268 - 1	12
	268 - 2	12
	930	12
	274	12
	289	12
		120

FUENTE: Elaboración propia

5.5. EVALUACIÓN DE LA SUPERFICIE DE LA MADERA

Las evaluaciones de rugosidad superficial se realizaron en probetas de 2,5 x 5 x 40 cm usando el método empleado por Meléndez y Bustamante (2003). En el cual se emplea un rugosímetro digital que posee una aguja de sondeo cuyo movimiento sobre la superficie de la madera permite conseguir una representación numérica del perfil de la superficie analizada. Para la medición de la calidad de la superficie se empleó un rugosímetro digital (Figura 2), con 7 repeticiones por probeta, distribuidas cada 5 cm (Figura 3). El parámetro de rugosidad superficial a medir fue la rugosidad media (Ra).



Figura 2: Medición de la rugosidad con el rugosímetro digital

FUENTE: Elaboración propia

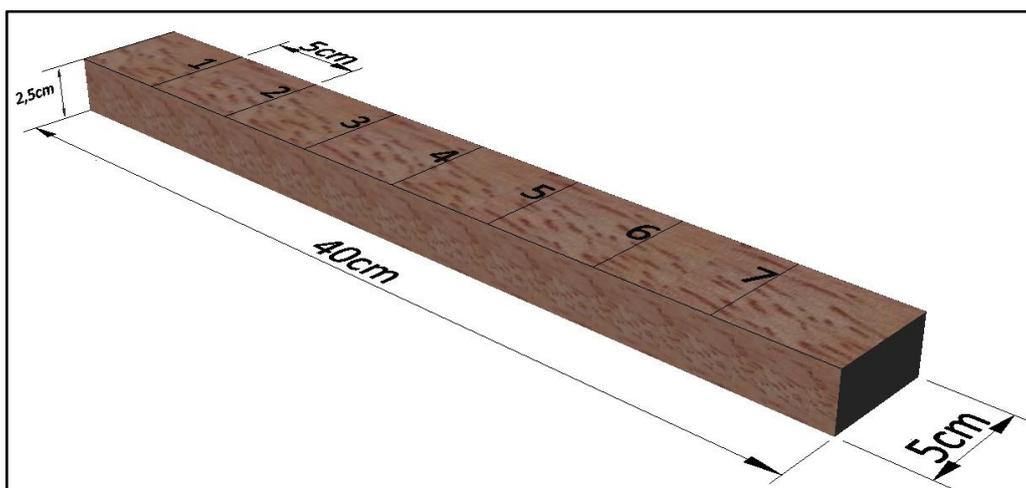


Figura 3: Distribución de los puntos de lectura de la rugosidad superficial

FUENTE: Elaboración propia

6. DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE EXTRACTIVOS DE LA MADERA

Se empleó la norma TAPPI T 204 cm-97 (1997). Se usó etanol como solvente de extracción. Se utilizaron muestras de 4 y 2 g de aserrín de madera Tornillo para la extracción de extractivos en el extractor Soxhlet y para la determinación el contenido de humedad de las muestras, respectivamente. Se realizaron tres repeticiones para las determinaciones del porcentaje de extractivos y el contenido de humedad de las muestras. El contenido final de extractivos resulto del promedio obtenido en las tres muestras.

7. EVALUACIÓN DEL ADHESIVO PVA

Se realizaron ensayos al adhesivo PVA siguiendo las siguientes normas:

a) CONTENIDO DE SÓLIDOS

Para la determinación del contenido de sólidos siguió el procedimiento mencionado en la norma ASTM D 1489-97 (2004). Se utilizaron tres muestras de 10 g de adhesivo, y los valores obtenidos de contenidos de sólidos se promediaron para obtener el valor final.

b) VISCOSIDAD

En la determinación de la viscosidad del adhesivo se utilizó el viscosímetro Brookfield tipo aguja con spin #4, velocidad de 4 r/min a una temperatura de 23 °C, siguiendo las especificaciones técnicas del fabricante del adhesivo y pautas de la norma ASTM D 1084-08 (2008).

8. PROCESO DE ENCOLADO Y PREPARACIÓN DE PROBETAS

Una vez concluida la evaluación de la rugosidad superficial, se procedió con el encolado y preparación de probetas para el ensayo de cizallamiento, en base al procedimiento siguiente (Figura 6):

- Encolado de listones: Se aplicó el adhesivo PVA de manera uniforme sobre una superficie total conformada por 5 listones de dimensiones de 5 x 20 cm (Figura 4). Se utilizaron tres extendidos del adhesivo (150, 200 y 250 g/m²) con seis (6) minutos de exposición (abierto) y doce (12) minutos de ensamble (cerrado). En el Anexo 12 se detalla la cantidad de adhesivo empleado.



Figura 4: Proceso de encolado de listones

FUENTE: Elaboración propia

- Prensado de listones: Se prensaron los listones en la Prensa CIMPA (Figura 5) con presiones de prensado de 5 y 10 kg/cm² por un tiempo de 6 horas. Cada presión de prensado se incrementó en 0,5 kg/cm², debido a la pérdida de presión por el reacomodo de los listones.



Figura 5: Proceso de prensado de listones

FUENTE: Elaboración propia

- Acondicionado de listones: Se acondicionaron los listones prensados, a las condiciones ambientales del laboratorio de ensayo (cuadro 6), por un periodo de 7 días antes de la preparación de las probetas.
- Preparación de las probetas: Se procedió al corte y dimensionamiento final de las probetas, obteniéndose probetas con las medidas especificadas en la norma Norma ASTM-D-905-03 (2003) (Figura 7).

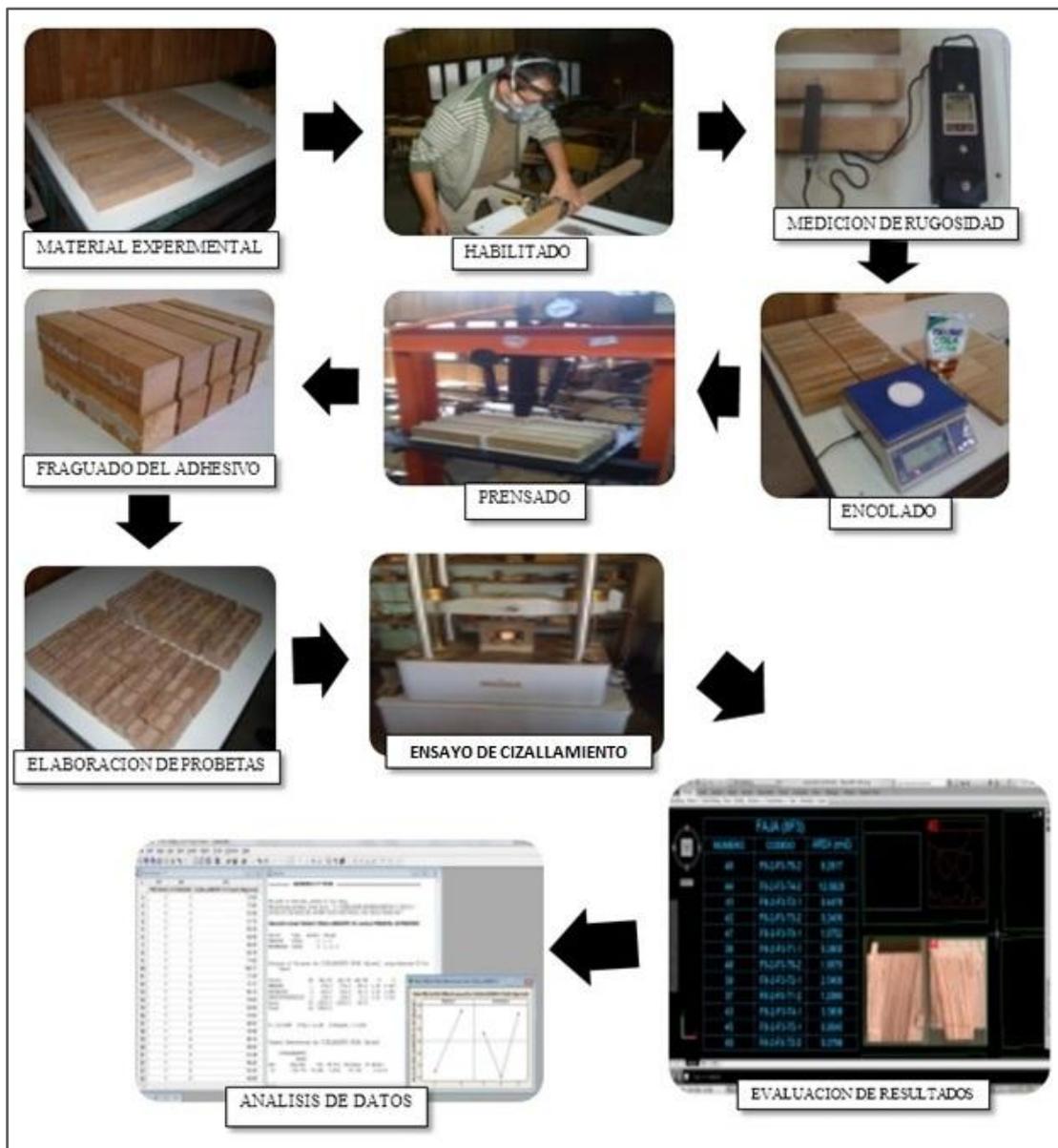


Figura 6: Diagrama de flujo del proceso de encolado para el ensayo de cizallamiento en la línea de cola.

FUENTE: Elaboración propia

En la Tabla 6 se muestran las condiciones ambientales durante el ensayo y las características del proceso de encolado.

Tabla 6: Condiciones del proceso de encolado

	VARIABLE	UNIDADES	PROMEDIO
AMBIENTAL	Temperatura ambiental	°C	15,70
	Humedad relativa	%	84
ENCOLADO	Tiempo de exposición (abierto)	minutos	6
	Tiempo de ensamble (cerrado)	minutos	12
	Tiempo bajo presión	horas	6
	Extendido de cola	g/m ²	150, 200 y 250
	Presión de prensado	kg/cm ²	5 y 10
	Tipo de aplicación	doble	2 caras
	Contenido de humedad de equilibrio de la madera	%	15,27

FUENTE: Elaboración propia

9. ENSAYOS DE RESISTENCIA AL CIZALLAMIENTO DE LA LÍNEA DE COLA

Los ensayos se realizaron en el Laboratorio de Propiedades Físicas y Mecánicas de la Madera, de acuerdo a la Norma ASTM-D-905-03 (2003), empleando la Prensa Universal “TiniusOlsen” con una velocidad de carga ajustada a 0,4 mm/min. Se determinó la carga máxima al esfuerzo de cizallamiento en la línea de cola. En la Figura 7 se muestra la probeta para el ensayo de cizallamiento.

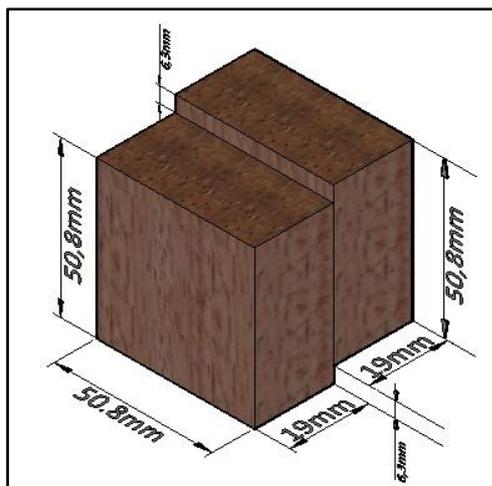


Figura 7: Dimensiones de las probetas para el ensayo de cizallamiento en la línea de cola

FUENTE: Elaboración propia

10. DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA AL CIZALLAMIENTO EN LA LÍNEA DE COLA

Para cada probeta se determinó la resistencia al cizallamiento a través de la siguiente relación:

$$C_z = \frac{P}{A}$$

Dónde: C_z es la resistencia al cizallamiento en kg/cm^2 ; P es la carga máxima registrada en kg y A es el área encolada en la probeta cm^2 .

11. ESTIMACIÓN DEL PORCENTAJE DE MADERA FALLADA

Se procedió al escaneo de la superficie fallada en cada probeta ensayada, con la finalidad de obtener imágenes que permitan delimitar el área de madera fallada. Para la estimación de la superficie fallada por probeta se empleó el programa AUTOCAD 2013 y la determinación del porcentaje de madera fallada se realizó con la siguiente relación:

$$\text{Porcentaje de madera fallada} = \frac{\text{Superficie de madera fallada}}{\text{Superficie encolada}} * 100$$

12. EVALUACIÓN DE LA UNIÓN ENCOLADA

La evaluación de la unión encolada se realizó según la Tabla 7, en donde se combina la resistencia relativa (relación de la resistencia de la unión encolada entre la resistencia de la madera sólida, expresada en porcentaje) y el porcentaje de madera fallada.

Tabla 7: Tabla para evaluación de uniones encoladas: Resistencia relativa vs. Madera fallada, en porcentaje

MADERA FALLADA (%)	RESISTENCIA RELATIVA (%)				
	EXCELENTE (91-100)	MUY BUENA (81-90)	BUENA (71-80)	REGULAR (61-70)	MALA (≤ 60)
Excelente (81-100)	Excelente	Excelente	Muy buena	Muy buena	Buena
Muy Buena (61-80)	Excelente	Muy buena	Muy buena	Buena	Buena
Buena (41-60)	Excelente	Muy buena	Buena	Regular	Regular
Regular (21-40)	Muy buena	Muy buena	Regular	Regular	Mala
Mala (≤ 20)	Muy buena	Buena	Regular	Mala	Mala

FUENTE: Adaptado de López (1976)

13. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

- a) Estadística Descriptiva: Para la caracterización de la forma de la distribución de los datos de Fajas y Campo abierto, se utilizó la prueba de normalidad de Anderson-Darling. Asimismo, se emplearon los coeficientes de asimetría (Skewness) y Kurtosis para evaluar la representatividad de la media y la concentración de los datos, respectivamente.
- b) Diseño Experimental: Se aplicó un Diseño Completamente al Azar (DCA) con un arreglo factorial de 2A x 3B con 10 repeticiones por tratamiento, de acuerdo al siguiente esquema:

Unidad experimental: probetas de madera Tornillo procedentes de tratamientos silviculturales de Campo Abierto y Fajas de 5 m.

Variable observada: carga máxima al cizallamiento en la línea de cola.

Nivel de Significación: 95 % de confianza con un $\alpha = 0.05$

Factores:

- Factor A: Presión de prensado (P)
- Niveles de factor: 5 y 10 kg/cm²
- Factor B: Extendido de cola (E)
- Niveles de factor: 150, 200, 250 g/m²
- Tipo de combinación: P- E
- Tratamientos (Presión de prensado y Extendido de Cola):
 - 5 kg/cm² y 150 g/m²
 - 5 kg/cm² y 200 g/m²
 - 5 kg/cm² y 250 g/m²
 - 10 kg/cm² y 150 g/m²

- 10 kg/cm^2 y 200 g/m^2
- 10 kg/cm^2 y 250 g/m^2

De acuerdo al diseño utilizado se plantean las siguientes hipótesis:

- Hp 1: Los efectos del extendido de cola y presión de encolado en la carga máxima al cizallamiento en la línea de cola son similares.
- Hp 2: Los efectos de interacción entre los factores de extendido de cola y presión de encolado son similares.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1. EVALUACIONES PRELIMINARES

En la Tabla 8 se indican los resultados de las evaluaciones preliminares para la madera y adhesivo empleados en la presente investigación.

En relación a la madera, el contenido de humedad promedio es inferior al contenido de equilibrio higroscópico registrado para el periodo de la fase experimental (Anexo 5). De la misma manera, el porcentaje de extractivos determinado con etanol es superior al registrado para madera Tornillo procedente de bosques naturales (Bueno, 1978) (Tabla 2). Al respecto, Leal *et al* (2011) afirma que la cantidad de extractivos se incrementa con la edad del árbol debido al proceso de duraminización, en donde la madera cosechada en turnos cortos tendrá menor durabilidad que aquella de turnos largos. El menor valor registrado por Bueno (1978) puede estar relacionado con diferencias en la localización geográfica, condiciones de crecimiento, de clima y de sitio (Salazar y Pérez, 1998).

Con respecto al adhesivo PVA, los resultados están dentro del rango con las especificaciones técnicas indicadas por el fabricante (Anexo 1). El contenido de sólidos de 42,30 por ciento, es inferior al indicado en la norma NTP 260.015 (2012), que es de 48 por ciento.

Tabla 8: Evaluaciones preliminares en la madera y el adhesivo PVA.

DESCRIPCIÓN		UNIDAD	PROMEDIO
Madera	Contenido de humedad	%	15,00
	Porcentaje de extractivos	%	5,20
Adhesivo PVA	Viscosidad	Cps	14500,00
	Contenido de sólidos	%	42,30

FUENTE: Elaboración propia

2. RESISTENCIA AL CIZALLAMIENTO EN LA LÍNEA DE COLA

En las Figuras 8 y 9 se muestran los valores promedios de resistencia al cizallamiento y de porcentaje de madera fallada para la madera Tornillo según cada tratamiento silvicultural.

Para la madera Tornillo en Fajas (Figura 8), el tratamiento con 10kg/cm^2 de presión y 150g/m^2 de extendido, registra los mayores valores de resistencia al cizallamiento y porcentaje de madera fallada, con $80,33\text{ kg/cm}^2$ y $57,86$ por ciento, respectivamente. Cabe resaltar que el promedio de resistencia al cizallamiento para este tratamiento, representa el $88,4$ por ciento de la resistencia al cizallamiento en la madera sólida reportada por Villa (2009) (Tabla 1).

La madera Tornillo en Campo abierto (Figura 9) con el tratamiento de 10kg/cm^2 de presión y 250 g/m^2 de extendido, registra los mayores valores de resistencia al cizallamiento y porcentaje de madera fallada, con $83,70\text{ kg/cm}^2$ y $33,37$ por ciento, respectivamente. Cabe señalar que el promedio de resistencia al cizallamiento para este tratamiento representa el $97,50$ por ciento de la resistencia al cizallamiento en la madera sólida reportada por Vega (2011) (Tabla 1).

Al comparar la resistencia promedio con estudios similares en maderas de Bombacáceas y la Yanavara (*Pollalestadiscolor*), se observa que los promedios de resistencia en Fajas de 5 m y Campo Abierto se encuentran entre los valores registrados por Brandán (1991) (45 kg/cm^2) y Gonzales (2006) ($133,13\text{ kg/cm}^2$); esto permite inferir que la resistencia en la unión encolada depende de las propiedades físico-mecánicas de las maderas a unir, tal como también lo afirma López (1976).

De la misma manera, para la madera proveniente de ambos tratamientos silviculturales, se percibe una tendencia al incremento de la resistencia al cizallamiento a medida que aumentan la presión de encolado y el extendido del adhesivo. Al respecto, Frihart y Hunt (2010) afirman que una presión cercana a 7 kg/cm^2 es adecuada para maderas de baja densidad y Carrascocitado por Viveros (2007), recomienda una cantidad de adhesivo óptima entre 150 a 200 g/m^2 .

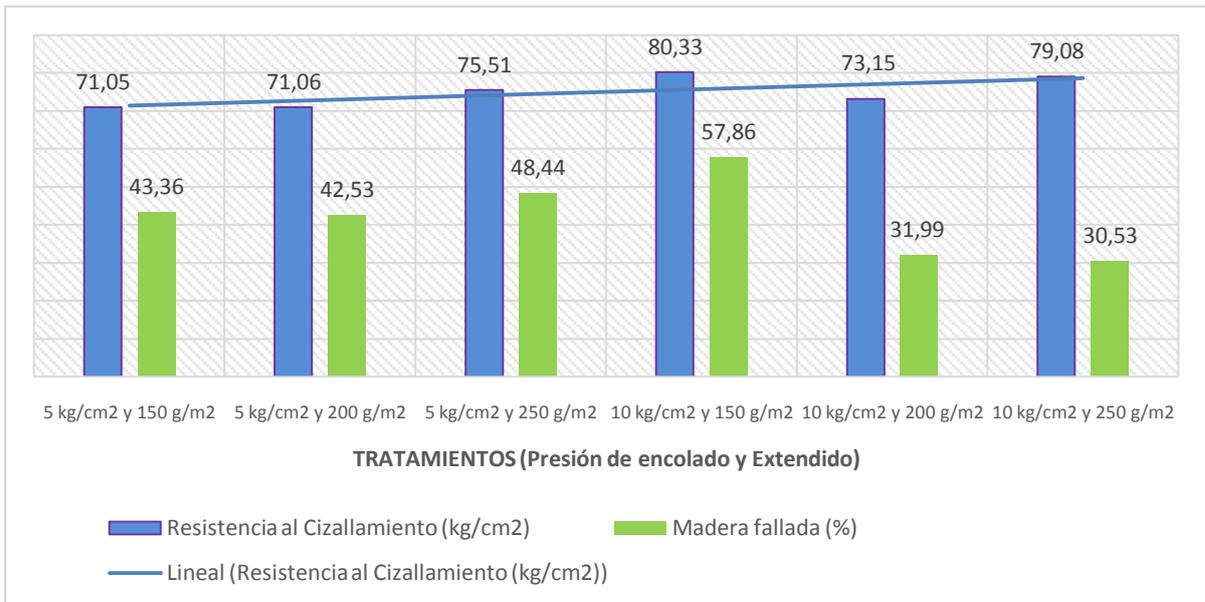


Figura 8: Promedios de resistencia al cizallamiento de la línea de cola y de madera fallada para la madera Tornillo en Fajas de 5 m según tratamiento.

FUENTE: Elaboración propia

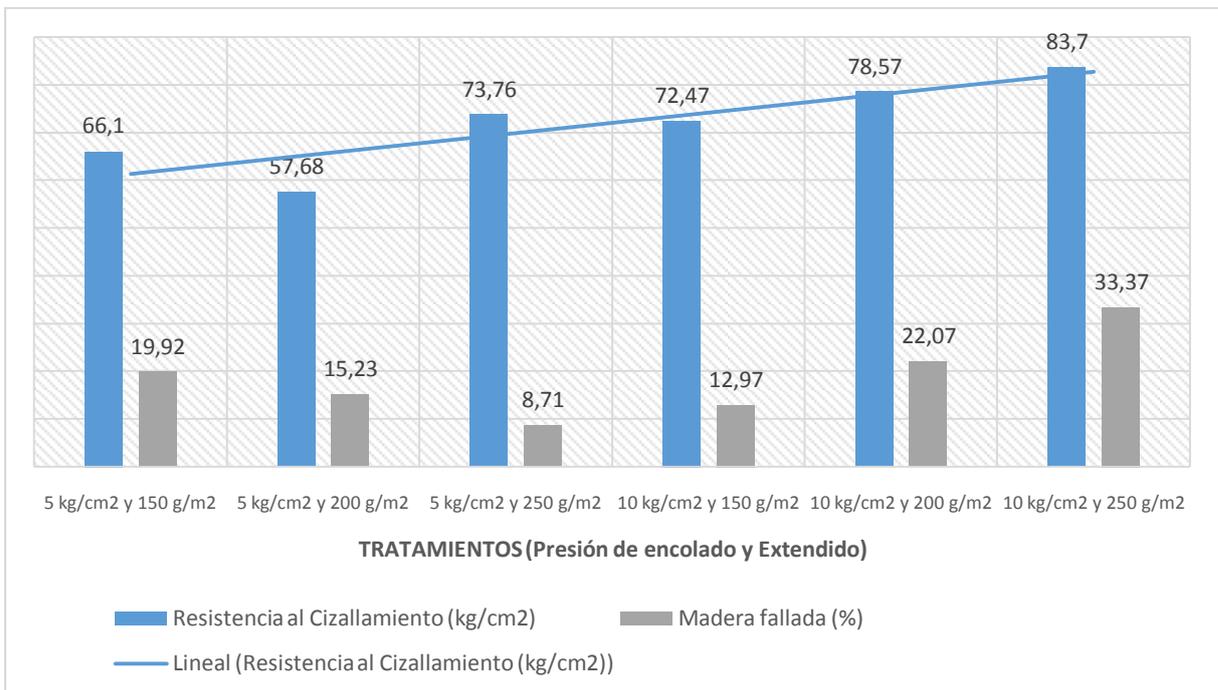


Figura 9: Promedios de resistencia al cizallamiento de la línea de cola y de madera fallada para la madera Tornillo en Campo Abierto según tratamiento.

FUENTE: Elaboración propia

3. VARIABILIDAD DE LA RESISTENCIA AL CIZALLAMIENTO EN LA LÍNEA DE COLA

En la Tabla 9 se muestra la variabilidad entre y dentro de los árboles de Tornillo, según tratamiento silvicultural.

Aplicando la escala propuesta por Rubio (1996) (ver anexo 16), tanto para Fajas como para Campo Abierto, los resultados muestran observaciones de variables a muy variables, coincidiendo con Brandan (1991) y Gonzales (2006). De la misma manera, se observa que la variabilidad entre y dentro de los árboles, para ambas condiciones silviculturales, tiende a disminuir a medida que aumentan la presión de encolado y el extendido del adhesivo.

Tabla 9: Variabilidad de la Resistencia al Cizallamiento en la línea de cola para Tornillo de Fajas y Campo abierto empleando diferentes condiciones de encolado según tratamiento.

PARÁMETRO ESTADÍSTICO	TORNILLO DE 22 AÑOS EN FAJA DE 5 m						
	PRESIÓN DE ENCOLADO (kg/cm ²)	5			10		
	EXTENDIDO (g/m ²)	150	200	250	150	200	250
Coeficiente de variación entre árboles (%)		30,70	25,50	36,80	40,0	26,70	18,40
Coeficiente de variación dentro de árboles (%)		20,10	25,90	9,60	16,90	30,10	16,60
PARÁMETRO ESTADÍSTICO	TORNILLO DE 20 AÑOS EN CAMPO ABIERTO						
	PRESIÓN DE ENCOLADO (kg/cm ²)	5			10		
	Extendido (g/m ²)	150	200	250	150	200	250
Coeficiente de variación entre árboles (%)		29,90	25,30	22,0	19,10	23,10	19,70
Coeficiente de variación dentro de árboles (%)		23,00	12,60	12,20	9,40	17,00	8,60

FUENTE: Elaboración propia

4. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

4.1. ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA

Según la Tabla 10, para Fajas de 5 m y Campo Abierto, el coeficiente de asimetría (Skewness) indica que la media es representativa de la población. En el caso del Coeficiente de Kurtosis para Campo abierto, los datos se encuentran dispersos. Finalmente, las pruebas de Anderson-Darling y Bartlett's, para ambos tratamientos silviculturales, señalan que la distribución es normal y existe homogeneidad de varianzas, respectivamente.

Tabla 10: Estadística descriptiva de ensayo en resistencia al cizallamiento de la línea de cola para madera Tornillo según sistema silvicultural.

INDICADOR ESTADÍSTICO	TORNILLO DE 22 AÑOS EN FAJA DE 5 m	TORNILLO DE 20 AÑOS EN CAMPO ABIERTO
Coeficiente de asimetría (Skewness)	0,19	-0,03
Coeficiente de Kurtosis	-0,20	-0,89
Prueba de Anderson-Darling (P-Value)	0,37	0,23
Prueba de Bartlett's (P-Value)	0,70	0,68

FUENTE: Elaboración propia

4.2. DISEÑO EXPERIMENTAL

a) Fajas de 5 m

En la Tabla 11 se observa que no existen diferencias significativas entre las presiones de encolado, por lo cual, se puede trabajar indistintamente en cualquier nivel de presión obteniendo similares resistencias al cizallamiento en la línea de cola. De la misma manera, se encontró suficiente evidencia estadística para afirmar que los diferentes extendidos del adhesivo proporcionan parecidas resistencias al cizallamiento. Según Villa (2009), la madera de Tornillo en Fajas de 22 años es de baja densidad y dureza (Tabla 1), esto explica que se obtengan aceptables uniones encoladas aún con menores presiones de prensado. Al respecto, Frihart y Hunt (2010) afirman que las bajas presiones de prensado son adecuadas para maderas de baja densidad, porque las superficies se acomodan fácilmente una con otra, asegurando el íntimo contacto entre el adhesivo y la madera.

En cuanto a la interacción, no existe efecto combinado de la presión de encolado y extendido sobre la resistencia al cizallamiento en la línea de cola. De esta manera, el tratamiento con 10kg/cm² y 150 g/m² representa la mejor condición de encolado, debido al mayor valor de resistencia registrada (Figura 8) y la menor cantidad de adhesivo empleado.

Tabla 11: Análisis de variancia para el ensayo de resistencia al cizallamiento en la línea de cola para madera Tornillo en Fajas a 5m.

FUENTE DE VARIABILIDAD	SIGNIFICANCIA ($\alpha=0.05$)
Presión	No Significativo
Extendido	No Significativo
Interacción presión-extendido	No Significativo

FUENTE: Elaboración propia

b) Campo abierto

En la Tabla 12 se muestra el análisis de variancia de la resistencia al cizallamiento en la línea de cola para madera Tornillo en Campo Abierto. Este análisis demuestra que es significativa la variancia en la presión de encolado y extendido, por lo tanto, hay suficiente evidencia estadística para afirmar que alguna de las presiones y extendidos ensayados, proporciona diferente resistencia al cizallamiento en la línea de cola.

Según Vega (2011), la madera de Tornillo en Campo Abierto con 20 años presenta una densidad y dureza superior a la de Fajas con 22 años (Tabla 1), esto explica que sea necesario aplicar mayores presiones de prensado para obtener uniones encoladas aceptables. Al respecto, Frihart y Hunt (2010) afirman que mayores presiones de prensado son requeridas para maderas de mayor densidad, las cuales son más difíciles de comprimir. De la misma manera, Takahashi (1967) indica que una mayor dureza de lados dificulta la aplicación uniforme de la presión de prensado, recomendando el encolado de superficies lisas y libres de ondulaciones o irregularidades.

Por otro lado, se observa que no existen efectos de interacción entre la presión y extendido sobre la resistencia al cizallamiento en la línea de cola.

Tabla 12: Análisis de variancia para el ensayo de resistencia al cizallamiento en la línea de cola para madera Tornillo en Campo Abierto

FUENTE DE VARIABILIDAD	SIGNIFICANCIA ($\alpha=0.05$)
Presión	Significativo
Extendido	Significativo
Interacción presión-extendido	No Significativo

FUENTE: Elaboración propia

En la Tabla 13 se muestran las comparaciones entre tratamientos para el ensayo de resistencia al cizallamiento en la línea de cola según la Prueba de Tuckey. El tratamiento con 10kg/cm^2 de presión de encolado y 250 g/m^2 de extendido proporciona diferente resistencia al cizallamiento en la línea de cola en comparación con los tratamientos con $5\text{ kg/cm}^2 - 150\text{ g/m}^2$ y $5\text{kg/cm}^2 - 200\text{ g/m}^2$. De la misma manera, los tratamientos con $5\text{ kg/cm}^2 - 200\text{ g/m}^2$ y $10\text{ kg/cm}^2 - 200\text{ g/m}^2$, representan desiguales resistencias al cizallamiento en la línea de cola. En las otras comparaciones, los tratamientos generan resistencias al cizallamiento en la línea de cola con valores similares.

De esta manera, el tratamiento con $10\text{ kg/cm}^2 - 150\text{ g/m}^2$ representa la mejor condición de encolado para madera Tornillo en Campo Abierto, debido a que la evidencia estadística indica que genera similar resistencia a la condición $10\text{kg/cm}^2 - 250\text{ g/m}^2$ (Tabla 13). Cabe resaltar que el tratamiento con $10\text{kg/cm}^2 - 250\text{ g/m}^2$, es el que registra el mayor valor de resistencia al cizallamiento en la línea de cola (Figura 9). Adicionalmente, el tratamiento con $10\text{ kg/cm}^2 - 150\text{ g/m}^2$ emplea una menor cantidad de adhesivo.

Con relación a la presión de encolado, Frihart y Hunt (2010) señalan que una presión cercana a 7 kg/cm^2 es adecuada para maderas de baja densidad. Respecto al extendido de la cola, Carrasco citado por Viveros (2007) recomienda una cantidad óptima entre 150 a 200 g/m^2 . El mismo autor afirma que las líneas de cola de poco espesor, además de ahorrar adhesivo, otorgan una mayor resistencia en la unión, menos riesgos de coloraciones y un fraguado más rápido.

Tabla 13: Prueba de Tuckey para el ensayo de resistencia al cizallamiento en la línea de cola para madera Tornillo en Campo Abierto

COMPARACIÓN <i>(Presión en kg/cm² y Extendido en g/m²)</i>	SIGNIFICANCIA($\alpha=0.05$)
5 y 150 – 5 y 200	No Significativo
5 y 150 - 5 y 250	No Significativo
5 y 150 – 10 y 150	No Significativo
5 y 150 – 10 y 200	No Significativo
5 y 150 – 10 y 250	Significativo
5 y 200 - 5 y 250	No Significativo
5 y 200 – 10 y 150	No Significativo
5 y 200 -10 y 200	Significativo
5 y 200 – 10 y 250	Significativo
5 y 250 – 10 y 150	No Significativo
5 y 250 – 10 y 200	No Significativo
5 y 250 – 10 y 250	No Significativo
10 y 150 – 10 y 200	No Significativo
10 y 150 – 10 y 250	No Significativo
10 y 200 – 10 y 250	No Significativo

FUENTE: Elaboración propia

5. EVALUACIÓN DE LA UNIÓN ENCOLADA

En la Tabla 14 se muestra la calificación de las uniones encoladas según tratamiento silvicultural. Según la Tabla 14 para la madera Tornillo en Fajas de 5 m, las uniones encoladas varían de buenas a muy buenas. En el caso de Campo Abierto, la variabilidad es mayor obteniéndose uniones encoladas que califican de malas a muy buenas.

Cabe resaltar que el tratamiento con 10 kg/cm² de presión y 150 g/m² de extendido, para Fajas de 5 m, y 10 kg/cm² de presión y 200 g/m² de extendido para Campo Abierto, reportan uniones encoladas muy buenas; garantizando menores consumos de adhesivo y mayores valores de resistencia al cizallamiento y porcentajes de madera fallada.

Tabla 14: Evaluación de las uniones encoladas para madera Tornillo según tratamiento silvicultural.

TRATAMIENTO <i>(Presión en kg/cm² y Extendido en g/m²)</i>	CALIFICACIÓN	
	<i>Fajas a 5m</i>	<i>Campo Abierto</i>
5 y 150	Buena	Regular
5y 200	Buena	Mala
5 y 250	Muy buena	Buena
10y 150	Muy buena	Buena
10y 200	Muy buena	Muy buena
10y 250	Muy buena	Muy buena

FUENTE: Elaboración propia

En la Figura 10 se muestran las probetas ensayadas con los tratamientos 10kg/cm² y 150 g/m² y 10kg/cm² y 200 g/m², para madera Tornillo en Fajas a 5m y Campo Abierto, respectivamente. Se observa que las uniones encoladas en Fajas presentaron un mayor porcentaje de falla de la madera, a diferencia del Campo abierto, donde la falla de las uniones ocurrió mayormente en la línea de cola. Al respecto, un alto porcentaje de falla de la madera representa una eficiente unión encolada.

Es posible que la menor densidad básica de la madera Tornillo en Fajas a 5 m (Tabla 1), represente un mayor volumen de espacio libre que permita la entrada del adhesivo, esto podría permitir una mejor adhesión mecánica, tal como también se afirma en el Foro Forestal Maderero de Bosque y Madera (2004).

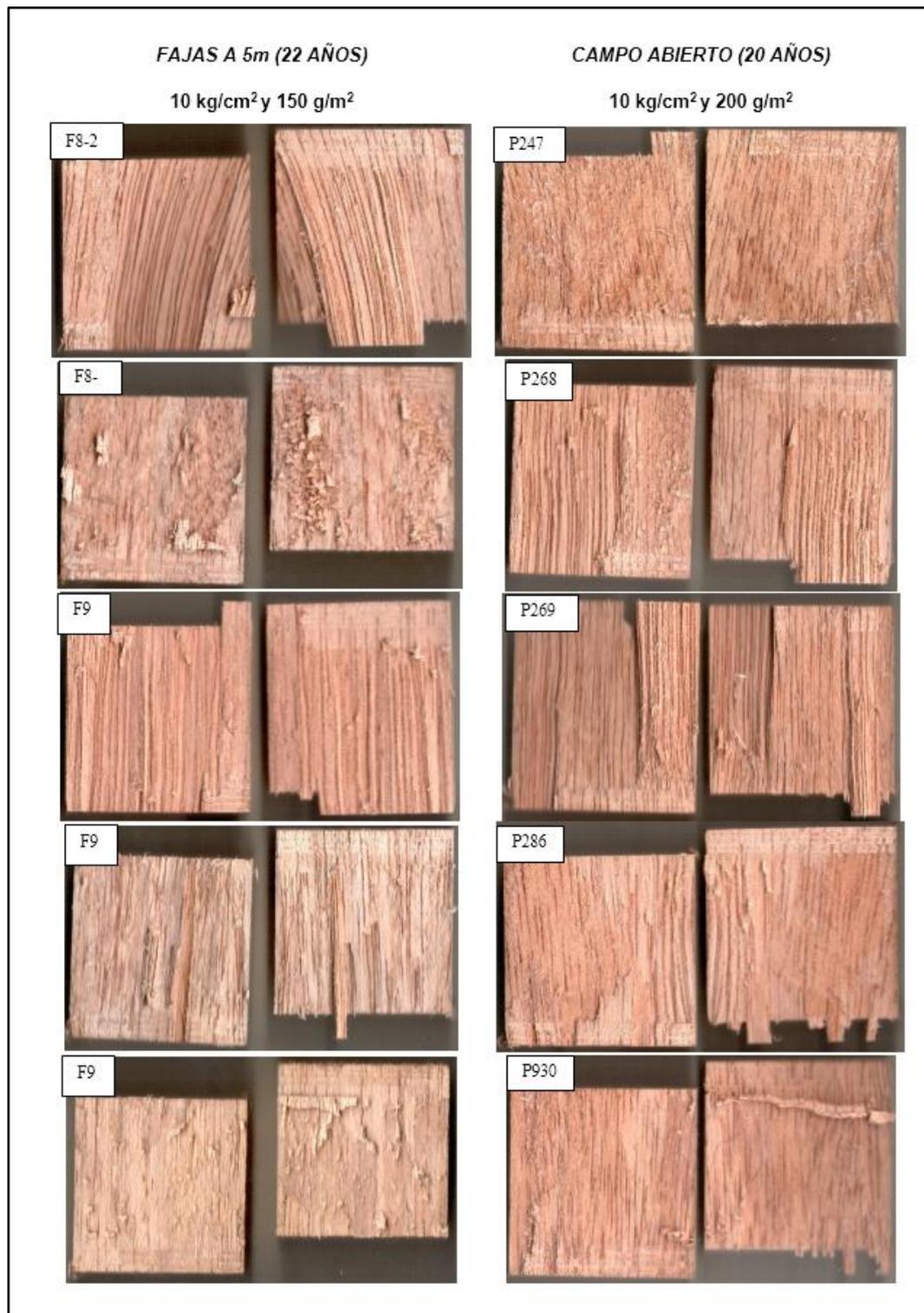


Figura 10: Fallas de uniones encoladas en madera Tornillo para Fajas de 5 m y Campo abierto

FUENTE: Elaboración propia

De la misma manera, los mayores valores de dureza de lados y compresión perpendicular en la madera Tornillo de Campo abierto pueden contribuir a una mayor dificultad en el prensado de las uniones, debido a que se requieren de mayores presiones para dominar las irregularidades de la superficie encolada. Al respecto, Takahashi (1967) afirma que la dureza de lados y altos valores de compresión perpendicular generan dificultad para la aplicación uniforme de la presión e indican la necesidad de encolar superficies lisas y libres de ondulaciones o irregularidades.

6. RUGOSIDAD SUPERFICIAL PARA TORNILLO DE FAJAS A 5 M Y CAMPO ABIERTO

Según la Tabla 15, para ambos tratamientos silviculturales, se registra una rugosidad superficial superior a la reportada por Gonzales (2006) (con 11,35 μm), para madera cepillada de Pino Chuncho (*Schizolobium amazonicum*) (Tabla 3). Como las maderas de Pino Chuncho y Tornillo poseen algunas características anatómicas similares (grano entrecruzado y textura gruesa), la diferencia puede explicarse con el hecho que, en la presente investigación, las superficies a encolar no fueron cepilladas. Al respecto, Meléndez y Bustamante (2003) afirman que la rugosidad superficial depende en gran medida de varios factores, entre los cuales destacan: la estructura anatómica, el contenido de humedad, las particularidades de la madera de ciertas especies y árboles, el número de grano de lija, la forma geométrica de las piezas, la velocidad de corte y el afilado de los elementos de corte.

Tabla 15: Valores de rugosidad superficial para madera Tornillo según sistema silvicultural.

<i>TRATAMIENTO SILVICULTURAL</i>	<i>PROMEDIO (μm)</i>	<i>CV (%)</i>
Fajas a 5 m (22 años)	13,90	28,20
Campo Abierto (20 años)	13,20	25

FUENTE: Elaboración propia

V. CONCLUSIONES

- 1) La resistencia al cizallamiento en la línea de cola utilizando adhesivo PVA en madera Tornillo de Fajas y Campo abierto alcanza valores ligeramente inferiores a los de la madera sólida.
- 2) El incremento de la presión de prensado y el extendido de cola tienen un efecto favorable en la resistencia al cizallamiento en madera Tornillo de Campo Abierto.
- 3) El incremento de la presión de prensado y el extendido de cola no tienen influencia sobre la resistencia al cizallamiento de madera Tornillo en Fajas de 5 m.
- 4) Las uniones encoladas de mejor calidad en madera Tornillo son obtenidas con una presión de prensado de 10 kg/cm^2 , y con un extendido de 150 g/m^2 para Fajas de 5 m y 200 g/m^2 para Campo Abierto.

VI. RECOMENDACIONES

- Realizar estudios anatómicos y químicos de la madera Tornillo procedente de plantaciones.
- Efectuar investigaciones que permitan determinar la penetración del adhesivo dentro de la madera Tornillo procedente de plantaciones.
- Realizar evaluaciones de la resistencia de la unión encolada usando distintas condiciones de superficie en madera Tornillo.
- Realizar estudios que permitan determinar los efectos de la cantidad y tipos de extractivos en el fraguado del adhesivo PVA.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acevedo, M; Kikata, Y. 1994. Atlas de maderas del Perú. Lima, PE, UNALM–Universidad de Nagoya Japón. 202 p.
- Acevedo, M. 1973. Propiedades físico-mecánicas y resistencia al cizallamiento de la línea de cola de la Tabebuia capitata (Bur y Sch) Sandw. Tesis Ing. Forestal. Lima, PE, UNALM. 107 p.
- Aróstegui, A. 1982. Recopilación y Análisis de Estudios Tecnológicos de Maderas peruanas. Lima, PE, Proyecto PNUD/FAO/PER/81/002. 57 p. (Documento de trabajo no. 2).
- ASTM (American Society for Testing and Materials, US). 2003. Designation: D 905 – 03. Standard Method of Test for Strength Properties of Adhesive Bonds in Shear by Compression Loading. Filadelfia, US, s.e. 5 p.
- _____. 2004a. Designation: D 5536-94. Standard Practice for Sampling Forest Trees for Determination of Clear Wood Properties. Filadelfia, US, s.e. 9 p.
- _____. 2004b. Designation: D 1489-97. Standard Test Method for Nonvolatile Content of Aqueous Adhesives. Filadelfia, US, s.e. 2 p.
- _____. 2008a. Designation: D 907-08. Standard Terminology of Adhesives. Filadelfia, US, s.e. 12 p.
- _____. 2008b. Designation: D 1583-01. Standard Test Method for Hydrogen Ion Concentration of Dry Adhesive Films. Filadelfia, US, s.e. 2 p.
- _____. 2008c. Designation: D 1084-08. Standard Test Method for Viscosity of Adhesivos. Filadelfia, US, s.e. 5 p.
- Blomquist, RF; Christiansen, AW; Gillespie, RH; Myers, GE. 1983. Adhesives bonding of wood and other structural materials. Pennsylvania, US, Educational modules for material science and engineering. 436 p. (Clark C. Heritage memorial series on wood, v.3).

- Brandán, S. 1991. Uniones encoladas con PVA, tres métodos de prensado y tres extendidos en cuatro maderas de Bombacaceae. Tesis Ing. Forestal. Lima, PE, UNALM. 84 p.
- Bueno, J. 1978. Estudio de posibilidades industriales de maderas nacionales para fabricación de pulpa para papel. Lima, PE, UNALM-Ministerio de Industria, Comercio, Turismo e Integración. 223p.
- Bustamante G, N. 2010. Estudio de Trabajabilidad de la madera cuatro especies procedentes de plantaciones en la región Ucayali. Lima, PE, INIA. 52 p.
- Flores, M. 2006. Elaboración de tableros OBS con residuos de la industria del laminado y dos tipos de adhesivos. Tesis Ing. Forestal. Lima, PE, UNALM. 77 p.
- Flores, Y; Ugalde, L; Galloway, G; Carrera, F. 2004. Crecimiento y productividad de plantaciones de seis especies forestales nativas de 20 años de edad en el bosque Alexander Von Humboldt, Amazonia Peruana. Lima, PE, Recursos Naturales y Ambiente. 111-121 p.
- Foro Forestal Maderero de bosque y madera. 2004. Adhesivos (en línea). s.l. Consultado 3 jun.2014. Disponible en <http://www.ffm.cl/viewtopic.php?t=4>
- Frihart, CR; Hunt, CG. 2010. Wood handbook-Wood as an Engineering Material: Adhesives with Wood Materials Bond Formation and Performance.Madison, US,Department of Agriculture.508 p.
- Gonzáles, M. 2006. Efecto de dos métodos de cepillado en la resistencia al cizallamiento de la línea de cola de dos especies de bosques secundarios. Tesis Ing. Forestal. Lima, PE, UNALM. 101 p.
- ITINTEC (Instituto de Investigación Tecnológica Industrial y de Normas Técnicas, PE). 2004. Norma Técnica Peruana 251.010 2004: Método para determinar el contenido de humedad. 2 ed. Lima, PE, s.e. 13 p.
- _____.2012.Norma Técnica Peruana 260.015 2012: Mobiliario escolar para instituciones educativas- Requisitos. 3 ed. Lima, PE, s.e. 30 p.

- Juros, M. 2009. Resistencia a la línea de cola de los tableros contrachapados de capinuri (Maquiracoriacea) y Ojerenaco (*Ficus schultesii*) utilizando tres formulaciones de cola y harina de yuca como extendedor. Tesis Ing. Forestal. Lima, PE, UNALM. 115 p.
- Leal, LE; Juárez, V; Terán, M. 2011. Composición química de la madera *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden procedente de Finca Las Maravillas, Departamento de Orán, Salta. Revista de Ciencias Forestales - Quebracho 19 (1-2): 75-83.
- López M, A. 1976. Resistencia y comportamiento al cizallamiento de la línea de cola de resorcinol-formaldehído en doce especies forestales. Tesis Ing. Forestal. Lima, PE, UNALM. 90 p.
- _____. 2000. Efecto de la densidad de la madera, espesor de láminas y cola sobre la flexión estática, en laminados de "Tornillo" (*Cedrelinga cateniformis* (Ducke) Ducke). Tesis Mag. Sc. Forestal. Lima, PE, UNALM. 77 p
- Madrid Vega, M. 1997. Tecnología de la Adhesión (en línea). Madrid, ES. Consultado 3 set. 2014. Disponible en <http://www.scribd.com/doc/14494450/tecnad>
- Meléndez C, A; Bustamante G, N. 2003. Evaluación de rugosidad superficial en madera cepillada y lijada de 6 especies forestales. Lima, PE, UNALM. 29 p.
- Rubio D, J. 1996. Estadística Aplicada. Lima, PE, UNALM. 179p.
- Salazar, AH y Pérez, JH. 1998. Determinación de componentes químicos de la madera cinco especies de encino del Estado de Puebla. Madera y Bosque 4 (2): 79-93.
- Takahashi, L. 1967. Resistencia al Cizallamiento de la Línea de Cola, en Quinilla Colorada (*Humiriastrum excelsum* Ducke). Revista Forestal del Perú 1 (2): 22-28.
- TAPPI (Technical Association of the Pulp and Paper Industry, US). 1997. T 204 cm-97 Solvent extractives of wood and pulp s.n.t. 4 p.
- Vega, N. 2011. Evaluación de las propiedades físico mecánicas de *Cedrelinga cateniformis* (Ducke) Ducke procedente de plantaciones de 20 años del Bosque Nacional Alexander von Humboldt Ucayali (Perú). Tesis Ing. Forestal. Lima, PE, UNALM. 177 p.
- Vignote, S. 1996. Tecnología de la Madera. Madrid, ES, Mundi-Prensa. 602 p.

Villa, B. 2009. Propiedades físico mecánicas de la especie *Cedrelinga cateniformis* Ducke provenientes de plantaciones instaladas en la Estación Experimental Alexander Von Humboldt. Tesis Ing. Forestal. Lima, PE, UNALM. 133 p.

Viveros, M. 2007. Efecto del desgaste del cuchillo en la calidad de la unión adhesive (en línea). Concepción, CL. Consultado 15 jun. 2014. Disponible en http://cybertesis.ubiobio.cl/tesis/2007/viveros_e/html/index-frames.html

VIII. ANEXOS

ANEXO 1

DATOS TÉCNICOS DEL ADHESIVO EMPLEADO



HOJA TECNICA

PRODUCTO: TEKNOCOLA EXTRA

CÓDIGO: 087-0002

1. DESCRIPCIÓN

TEKNOCOLA EXTRA es un pegamento a base de poliacetato de vinilo, adecuado para la unión de todo tipo de madera entre si. Es una cola sintética de secado rápido que desarrolla una fuerte adherencia en las uniones de madera.

2. USOS DEL PRODUCTO

- Pegamento adecuado para la unión de todo tipo de madera entre si.
- Une maderas de canto.
- Puertas contraplacadas.
- Enchapes de aglomerados
- Fabricación de Tableros.

3. PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS

Tipo de Adhesivo	:	Acuoso
Base	:	Polivinil acetato en emulsión acuosa
Color	:	Blanco
Contenido de sólidos en peso	:	41 – 44 %
Densidad	:	1.01 – 1.06 g/ml
Viscosidad de Entrega (Brookfield RVT spin 4/5 rpm a 23°C)	:	11 000 – 18 000 cps
Película	:	Transparente
Tiempo útil de Almacenaje	:	En lugares ventilados, bajo sombra a temperaturas entre 15° - 25°C hasta 9 meses en su envase original sellado.

4. FORMA DE USO

Preparación de superficie

- Cepille la madera con cepillo de carpintero.
- Aplique el adhesivo sobre la superficie limpia y libre de polvo, grasa o agua.

TEKNOQUIMICA S.A.
Av. César Vallejo 1877 El Agustino, Lima 10 – Perú
☎ 612-6000 ☎ (51)612-6001 612-6002 612-6004 612-6006 612-6007 R.U.C. 20101292658
www.tekno.com.pe



Hte0171-Rev00

□ **Aplicación**

Método de Aplicación	:	Brocha o espátula
Tipo sustrato	:	madera, cartón, papel, tekpor
Presión recomendada	:	50 – 100 lb/pulg ²
Diluyente	:	Agua
Nº de capas	:	1
Secado en prensa	:	1 – 3 horas
Rendimiento Teórico	:	
Aplicado a una superficie	:	1 kilo rinde 5 m ² o 150-200 g/m ²
Aplicado a ambas Superficies	:	1 kilo rinde 4 m ² o 200-250 g/m ²

□ **Secuencia de Aplicación**

- Aplicar **TEKNOCOLA EXTRA** con brocha, espátula o rodillo, se aplica una película que cubra de blanco toda la superficie y se une rápidamente a la otra superficie ejerciendo presión para asegurar la penetración del adhesivo.
- Si se aplica **TEKNOCOLA EXTRA** a ambas superficies, estas pueden estar algunos minutos expuestas al ambiente, luego se unen las superficies aplicando presión de 1 a 3 horas. Se logra la máxima fuerza de unión a las 24 horas.
- Retirar los excesos de cola con un paño húmedo, antes que el producto seque.

5. PRECAUCIONES EN SU USO

- Mantener fuera del alcance de los niños.
- El contacto prolongado con el producto puede causar irritación en pieles sensibles, se recomienda utilizar guantes.
- En caso de contacto con los ojos lave con abundante agua durante al menos 15 minutos. Si la irritación persiste consulte a un medico. Evite accidentes usando gafas de protección.
- Lávese las manos o área de contacto con suficiente agua y jabón.

6. PRESENTACIÓN DEL PRODUCTO

CÓDIGO DE PRESENTACIÓN	TIPO	CONTENIDO NETO (L)	PIEZAS POR PRESENTACIÓN
018	Balde Plástico	3.81	1
036	Balde Plástico	3.81	1
115	Cilindro 100 kg	100	1

ANEXO 2

CONSTANCIA DE IDENTIFICACIÓN DE LAS ESPECIES ESTUDIADAS



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES: FAX: 349-2041, TEF: 349-5647 / 349-5669, Anexo .203
APDO.456 - LA MOLINA LIMA PERU



CONSTANCIA

El que suscribe, **JEFE DEL LABORATORIO DE ANATOMÍA DE LA MADERA**, deja constancia que, de acuerdo con los estudios anatómicos efectuados, las muestras de madera proporcionadas por el **Bach. ALVARO GUERRA MIRANDA**, ex alumno de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Nacional Agraria la Molina, empleadas en su trabajo de tesis titulado: "**Resistencia al cizallamiento de la línea de cola en madera de tornillo *Cedrelinga cateniformis* Ducke** procedente de plantaciones en la zona de Ucayali - Perú"; corresponden a:

<u>Nombre Común</u>	<u>Nombre Científico</u>	<u>Familia</u>
Tornillo	<i>Cedrelinga cateniformis</i> Ducke	Fabaceae

Atentamente,


Ing. Manuel Chavesta Custodio
Lab. Anatomía de la Madera



La Molina, 03 de Octubre de 2013

ANEXO 3

CONDICIONES AMBIENTALES DE LA UNALM

Estación : VON HUMBOLDT , Tipo Automfca - Meteorológica 2								
Departamento : LIMA			Provincia : LIMA			Distrito : LA MOLINA		Ir : 2013-09 ▼
Latitud : 12° 4' 55.63"			Longitud : 76° 56' 21.42"			Altitud : 246		
Día/mes/año	Temperatura (°c)			Humedad (%)	Lluvia (mm)	Presion (mb)	Velocidad del Viento (m/s)	Direccion del Viento
	Prom	Max	Min					
23-Sep-2013	15.31	20.1	13.7	85.92	.8	984.8	2.57	247
24-Sep-2013	14.8	16.2	13.7	87.21	.1	984.95	2.34	234
25-Sep-2013	15.7	20.1	13.9	83.88	0	985.55	2.03	270
26-Sep-2013	16.3	19.6	14.3	81.08	0	985.28	2.7	245
27-Sep-2013	15.68	18.7	13.8	84.88	0	986.53	2.09	270
28-Sep-2013	16.4	21.2	13.9	82.17	0	986.43	2.13	242

* Fuente : SENAMHI - Oficina de Estadística
 * Informacion sin Control de Calidad
 * El uso de esta Informacion es bajo su entera Responsabilidad

ANEXO 4

CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA MADERA EN QUILIBRIO CON LA TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA INDICADA

Temperature		Moisture content (%) at various relative humidity values																		
(°C)	(°F)	5%	10%	15%	20%	25%	30%	35%	40%	45%	50%	55%	60%	65%	70%	75%	80%	85%	90%	95%
-1.1	(30)	1.4	2.6	3.7	4.6	5.5	6.3	7.1	7.9	8.7	9.5	10.4	11.3	12.4	13.5	14.9	16.5	18.5	21.0	24.3
4.4	(40)	1.4	2.6	3.7	4.6	5.5	6.3	7.1	7.9	8.7	9.5	10.4	11.3	12.3	13.5	14.9	16.5	18.5	21.0	24.3
10.0	(50)	1.4	2.6	3.6	4.6	5.5	6.3	7.1	7.9	8.7	9.5	10.3	11.2	12.3	13.4	14.8	16.4	18.4	20.9	24.3
15.6	(60)	1.3	2.5	3.6	4.6	5.4	6.2	7.0	7.8	8.6	9.4	10.2	11.1	12.1	13.3	14.6	16.2	18.2	20.7	24.1
21.1	(70)	1.3	2.5	3.5	4.5	5.4	6.2	6.9	7.7	8.5	9.2	10.1	11.0	12.0	13.1	14.4	16.0	17.9	20.5	23.9
26.7	(80)	1.3	2.4	3.5	4.4	5.3	6.1	6.8	7.6	8.3	9.1	9.9	10.8	11.7	12.9	14.2	15.7	17.7	20.2	23.6
32.2	(90)	1.2	2.3	3.4	4.3	5.1	5.9	6.7	7.4	8.1	8.9	9.7	10.5	11.5	12.6	13.9	15.4	17.3	19.8	23.3
37.8	(100)	1.2	2.3	3.3	4.2	5.0	5.8	6.5	7.2	7.9	8.7	9.5	10.3	11.2	12.3	13.6	15.1	17.0	19.5	22.9
43.3	(110)	1.1	2.2	3.2	4.0	4.9	5.6	6.3	7.0	7.7	8.4	9.2	10.0	11.0	12.0	13.2	14.7	16.6	19.1	22.4
48.9	(120)	1.1	2.1	3.0	3.9	4.7	5.4	6.1	6.8	7.5	8.2	8.9	9.7	10.6	11.7	12.9	14.4	16.2	18.6	22.0
54.4	(130)	1.0	2.0	2.9	3.7	4.5	5.2	5.9	6.6	7.2	7.9	8.7	9.4	10.3	11.3	12.5	14.0	15.8	18.2	21.5
60.0	(140)	0.9	1.9	2.8	3.6	4.3	5.0	5.7	6.3	7.0	7.7	8.4	9.1	10.0	11.0	12.1	13.6	15.3	17.7	21.0
65.6	(150)	0.9	1.8	2.6	3.4	4.1	4.8	5.5	6.1	6.7	7.4	8.1	8.8	9.7	10.6	11.8	13.1	14.9	17.2	20.4
71.1	(160)	0.8	1.6	2.4	3.2	3.9	4.6	5.2	5.8	6.4	7.1	7.8	8.5	9.3	10.3	11.4	12.7	14.4	16.7	19.9
76.7	(170)	0.7	1.5	2.3	3.0	3.7	4.3	4.9	5.6	6.2	6.8	7.4	8.2	9.0	9.9	11.0	12.3	14.0	16.2	19.3
82.2	(180)	0.7	1.4	2.1	2.8	3.5	4.1	4.7	5.3	5.9	6.5	7.1	7.8	8.6	9.5	10.5	11.8	13.5	15.7	18.7
87.8	(190)	0.6	1.3	1.9	2.6	3.2	3.8	4.4	5.0	5.5	6.1	6.8	7.5	8.2	9.1	10.1	11.4	13.0	15.1	18.1
93.3	(200)	0.5	1.1	1.7	2.4	3.0	3.5	4.1	4.6	5.2	5.8	6.4	7.1	7.8	8.7	9.7	10.9	12.5	14.6	17.5
98.9	(210)	0.5	1.0	1.6	2.1	2.7	3.2	3.8	4.3	4.9	5.4	6.0	6.7	7.4	8.3	9.2	10.4	12.0	14.0	16.9
104.4	(220)	0.4	0.9	1.4	1.9	2.4	2.9	3.4	3.9	4.5	5.0	5.6	6.3	7.0	7.8	8.8	9.9			
110.0	(230)	0.3	0.8	1.2	1.6	2.1	2.6	3.1	3.6	4.2	4.7	5.3	6.0	6.7						
115.6	(240)	0.3	0.6	0.9	1.3	1.7	2.1	2.6	3.1	3.5	4.1	4.6								
121.1	(250)	0.2	0.4	0.7	1.0	1.3	1.7	2.1	2.5	2.9										
126.7	(260)	0.2	0.3	0.5	0.7	0.9	1.1	1.4												
132.2	(270)	0.1	0.1	0.2	0.3	0.4	0.4													

FUENTE: *Frihart y Hunt (2010)*

ANEXO 5

CONTENIDO DE HUMEDAD DE EQUILIBRIO EN LA MOLINA DURANTE LA FASE EXPERIMENTAL

FECHA	TEMPERATURA °C (Prom)	HR (%)	CH EQUILIBRIO
23 SETIEMBRE 2013	15,31	85,92	18,67
24 SETIEMBRE 2013	14,8	87,21	19,34
25 SETIEMBRE 2013	15,7	83,88	17,74
26 SETIEMBRE 2013	16,3	81,08	16,60
27 SETIEMBRE 2013	15,68	84,88	18,15
28 SETIEMBRE 2013	16,4	82,17	17,03
PROMEDIO	15,70	84,19	17,92

FUENTE: Elaboración propia

ANEXO 6

VALORES UNITARIOS DE LOS ENSAYOS DE RESISTENCIA AL CIZALLAMIENTO EN LA LÍNEA DE COLA Y PORCENTAJE DE MADERA FALLADA PARA FAJAS A 5 M

<i>Probetas</i>		<i>Ancho (cm)</i>	<i>Espesor (cm)</i>	<i>Área Cz (m²)</i>	<i>Carga máxima (lb)</i>	<i>Carga máxima (kg)</i>	<i>Resistencia Cz (kg/cm²)</i>	<i>Madera fallada (%)</i>
<i>Árbol</i>	<i>Código</i>							
10F3	F10-2-F3-T1-1	48,01	43,97	21,11	3400	1542,24	73,06	48
	F10-2-F3-T1-2	47,91	44,94	21,53	3600	1632,96	75,84	100
	F10-2-F3-T2-1	47,63	44,3	21,10	3600	1632,96	77,39	100
	F10-2-F3-T2-2	47,97	44,93	21,55	3600	1632,96	75,77	100
	F10-2-F3-T3-1	49,27	43,5	21,43	2900	1315,44	61,38	100
	F10-2-F3-T3-2	49,56	44,13	21,87	3300	1496,88	68,44	100
	F10-2-F3-T4-1	48,3	44,24	21,37	3980	1805,328	84,49	100
	F10-2-F3-T4-2	48,48	44,22	21,44	3200	1451,52	67,71	100
	F10-2-F3-T5-1	49,39	42,8	21,14	2600	1179,36	55,79	9
	F10-2-F3-T5-2	49,25	44,09	21,71	1300	589,68	27,16	6
	F10-2-F3-T6-1	48,05	42,9	20,61	3650	1655,64	80,32	100
F10-2-F3-T6-2	48,45	43,17	20,92	3750	1701,00	81,33	9	
9F6	F9-3-F6-T1	49,39	44,02	21,74	2970	1347,19	61,96	12
	F9-3-F6-T1	49,37	44,05	21,75	2000	907,20	41,72	7
	F9-3-F6-T2	50,11	44,51	22,30	3940	1787,18	80,13	4
	F9-3-F6-T2	50,29	45,07	22,67	3900	1769,04	78,05	50
	F9-3-F6-T3	50,66	44,02	22,30	3020	1369,87	61,43	13
	F9-3-F6-T3	50,69	44,22	22,42	4550	2063,88	92,08	37
	F9-3-F6-T4	50,98	44,42	22,65	2990	1356,26	59,89	40
	F9-3-F6-T4	50,56	44,72	22,61	3680	1669,25	73,83	37
	F9-3-F6-T5	49,96	44,44	22,20	4230	1918,73	86,42	4
	F9-3-F6-T5	49,48	44,03	21,79	4060	1841,62	84,53	4
	F9-3-F6-T6	49,54	44,94	22,26	2930	1329,05	59,70	17
F9-3-F6-T6	49,56	43,91	21,76	4750	2154,60	99,01	66	
12F4	F12-2-F4-T1	50,23	43,88	22,0409	2930	1329,048	60,30	31
	F12-2-F4-T1	49,92	43	21,4656	3060	1388,016	64,66	100
	F12-2-F4-T2	50,19	44,19	22,1790	2250	1020,6	46,02	9
	F12-2-F4-T2	50,37	43,98	22,1527	3420	1551,312	70,03	100
	F12-2-F4-T3	50,57	43,23	21,8614	2350	1065,96	48,76	27
	F12-2-F4-T3	50,58	44,57	22,5435	2750	1247,4	55,33	100
	F12-2-F4-T4	49,68	43,73	21,7251	2880	1306,368	60,13	12
	F12-2-F4-T4	49,68	43,33	21,5263	2650	1202,04	55,84	16
	F12-2-F4-T5	49,54	44,24	21,9165	2930	1329,048	60,64	100
	F12-2-F4-T5	49,03	44,5	21,8184	3180	1442,448	66,11	100
F12-2-F4-T6	49,61	44,67	22,1608	3050	1383,48	62,43	43	

Continuación

	F12-2-F4-T6	49,59	43,56	21,6014	3000	1360,8	63,00	31
8F3	F8-2-F3-T1	50,36	43,4	21,8562	3300	1496,88	68,49	6
	F8-2-F3-T1	50,51	43,89	22,1688	4110	1864,296	84,10	24
	F8-2-F3-T2	51,35	44,9	23,0562	4200	1905,12	82,63	11
	F8-2-F3-T2	51,55	44,25	22,8109	1700	771,12	33,80	1
	F8-2-F3-T3	49,47	44,25	21,8905	4950	2245,32	102,57	2
	F8-2-F3-T3	49,3	43,85	21,6181	4750	2154,6	99,67	1
	F8-2-F3-T4	49,33	44,28	21,8433	3160	1433,376	65,62	15
	F8-2-F3-T4	49,45	44	21,7580	5240	2376,864	109,24	58
	F8-2-F3-T5	51,18	43,83	22,4322	2250	1020,6	45,50	4
	F8-2-F3-T5	50,75	43,66	22,1575	5340	2422,224	109,32	42
	F8-2-F3-T6	49,13	43,66	21,4502	4140	1877,904	87,55	5
	F8-2-F3-T6	49,16	43,96	21,6107	3980	1805,328	83,54	5
9F9	F9-1-F9-T1	43,17	43,27	18,6797	2950	1338,12	71,64	7
	F9-1-F9-T1	49,77	43,99	21,8938	5250	2381,4	108,77	100
	F9-1-F9-T2	49,89	43,38	21,6423	4110	1864,296	86,14	47
	F9-1-F9-T2	49,84	44,7	22,2785	3960	1796,256	80,63	4
	F9-1-F9-T3	50,65	44,41	22,4937	4300	1950,48	86,71	100
	F9-1-F9-T3	50,25	44,25	22,2356	3860	1750,896	78,74	4
	F9-1-F9-T4	49,98	43,73	21,8563	5500	2494,8	114,15	100
	F9-1-F9-T4	49,98	44,88	22,4310	5560	2522,016	112,43	100
	F9-1-F9-T5	50,3	43,48	21,8704	4280	1941,408	88,77	36
	F9-1-F9-T5	50,51	44,2	22,3254	3870	1755,432	78,63	15
	F9-1-F9-T6	41,54	44,7	18,5684	3610	1637,496	88,19	0.5
F9-1-F9-T6	49,46	43,52	21,5250	4070	1846,152	85,77	28	

FUENTE: Elaboración propia

ANEXO 7

VALORES UNITARIOS Y PROMEDIOS DE LOS ENSAYOS DE RESISTENCIA AL CIZALLAMIENTO EN LA LÍNEA DE COLA Y PORCENTAJE DE MADERA FALLADA PARA CAMPO ABIERTO

Probetas		Ancho (cm)	Espesor (cm)	Área Cz (m ²)	Carga máxima (lb)	Carga máxima (kg)	Resistencia Cz (kg/cm ²)	Madera fallada (%)
Árbol	Código							
268-1	P268-1-T1	50,35	44,62	22,47	2100	952,56	42,40	8
	P268-1-T1	50,18	44,51	22,34	3100	1406,16	62,96	21
	P268-1-T2	50,35	44,84	22,58	2450	1111,32	49,22	2
	P268-1-T2	50,17	43,54	21,84	2400	1088,64	49,84	1
	P268-1-T3	50,26	44,34	22,29	3450	1564,92	70,22	2
	P268-1-T3	49,96	43,98	21,97	3150	1428,84	65,03	0
	P268-1-T4	50,17	44,09	22,12	3470	1573,992	71,16	5
	P268-1-T4	50,08	44,06	22,07	3950	1791,72	81,20	7
	P268-1-T5	49,71	43,58	21,66	4400	1995,84	92,13	27
	P268-1-T5	49,6	44,6	22,12	4220	1914,192	86,53	49
	P268-1-T6	49,24	43,98	21,66	3730	1691,928	78,13	5
	P268-1-T6	49,39	44,81	22,13	4130	1873,368	84,65	9
268-2	P268-2-T1	49,83	43,46	21,66	3960	1796,256	82,94	32
	P268-2-T1	49,56	44,33	21,97	4230	1918,728	87,33	35
	P268-2-T2	48,98	44,29	21,69	2700	1224,72	56,46	6
	P268-2-T2	49,09	44,59	21,89	2150	975,24	44,55	5
	P268-2-T3	48,73	43,21	21,06	4000	1814,4	86,17	10
	P268-2-T3	48	43,42	20,84	3630	1646,568	79,00	4
	P268-2-T4	49,89	43,58	21,74	3910	1773,576	81,57	2
	P268-2-T4	49,6	43,98	21,81	4330	1964,088	90,04	66
	P268-2-T5	47,71	43,48	20,74	3930	1782,648	85,93	5
	P268-2-T5	48,3	44,6	21,54	4280	1941,408	90,12	60
	P268-2-T6	48,54	44,44	21,57	4450	2018,52	93,57	100
	P268-2-T6	48,27	44,45	21,46	3910	1773,576	82,66	53
930	P930-3-T1	49,18	44,17	21,72	2970	1347,192	62,02	54
	P930-3-T1	49,04	43,64	21,40	600	272,16	12,72	0
	P930-3-T2	50,64	44,68	22,63	2850	1292,76	57,14	42
	P930-3-T2	50,6	44,39	22,46	3150	1428,84	63,61	4
	P930-3-T3	50,53	43,69	22,08	3860	1750,896	79,31	9
	P930-3-T3	51,04	45,03	22,98	2760	1251,936	54,47	1
	P930-3-T4	50,86	43,83	22,29	3200	1451,52	65,11	1
	P930-3-T4	50,67	44,98	22,79	3600	1632,96	71,65	10
	P930-3-T5	50,45	44,19	22,29	3600	1632,96	73,25	6
	P930-3-T5	50,44	44,14	22,26	4050	1837,08	82,51	10
	P930-3-T6	51,01	43,88	22,38	5120	2322,432	103,76	30
	P930-3-T6	50,6	44,25	22,39	4330	1964,088	87,72	0

Continuación

274	P274-3-T1	51,39	44,01	22,62	4640	2104,704	93,06	29
	P274-3-T1	51,41	43,69	22,46	2670	1211,112	53,92	3
	P274-3-T2	50,98	44,21	22,54	3360	1524,096	67,62	24
	P274-3-T2	51,24	44,38	22,74	3960	1796,256	78,99	62
	P274-3-T3	49,88	44,58	22,24	3320	1505,952	67,72	2
	P274-3-T3	50,26	44,35	22,29	2930	1329,048	59,62	10
	P274-3-T4	50,38	43,69	22,01	3440	1560,384	70,89	11
	P274-3-T4	50,12	43,57	21,84	550	249,48	11,42	1
	P274-3-T5	50,2	43,88	22,03	2600	1179,36	53,54	1
	P274-3-T5	50,83	44,95	22,85	3250	1474,2	64,52	8
	P274-3-T6	49,17	44,23	21,75	4500	2041,2	93,86	44
	P274-3-T6	48,89	43,39	21,21	3740	1696,464	79,97	8
289	P289-3-T1	50,19	44,24	22,20	3170	1437,912	64,76	15
	P289-3-T1	49,42	43,68	21,59	2360	1070,496	49,59	3
	P289-3-T2	49,44	43,81	21,66	2200	997,92	46,07	1
	P289-3-T2	49,56	44,12	21,87	3050	1383,48	63,27	4
	P289-3-T3	49,71	43,19	21,47	3910	1773,576	82,61	20
	P289-3-T3	49,97	44,22	22,10	4550	2063,88	93,40	28
	P289-3-T4	49,33	44,15	21,78	2500	1134	52,07	7
	P289-3-T4	49,36	43,89	21,66	3350	1519,56	70,14	19
	P289-3-T5	49,99	43,75	21,87	4710	2136,456	97,69	52
	P289-3-T5	49,83	44,36	22,10	2900	1315,44	59,51	2
	P289-3-T6	49,98	43,87	21,93	3370	1528,632	69,72	7
	P289-3-T6	49,92	44,02	21,97	3050	1383,48	62,96	78

FUENTE: Elaboración propia

ANEXO 8

VALORES PROMEDIOS DE RESISTENCIA AL CIZALLAMIENTO EN LA LÍNEA DE COLA Y PORCENTAJE DE MADERA FALLADA PARA FAJAS Y CAMPO ABIERTO

TRATAMIENTO SILVICULTURAL	EXTENDIDO DE COLA (g/m ²)	PRESIÓN DE ENCOLADO(kg/cm ²)							
		5				10			
		Resistencia Ciz(kg/cm ²)		Madera fallada (%)		ResistenciaCiz (kg/cm ²)		Madera fallada (%)	
		Promedio	CV	Promedio	CV	Promedio	CV	Promedio	CV
FAJAS A 5 m (22 años)	150	71,05	24,50	43,36	95,07	80,33	28,96	57,86	66,97
	200	71,06	24,20	42,53	101,53	73,15	26,81	31,99	119,68
	250	75,51	25,35	48,44	94,47	79,08	16,51	30,53	104,27
CAMPO ABIERTO (20 años)	150	66,10	25,16	19,92	90,24	72,47	14,18	12,97	148,51
	200	57,68	18,83	15,23	138,01	78,57	19,12	22,07	104,92
	250	73,76	16,75	8,71	102,53	83,70	14,31	33,37	103,67

FUENTE: Elaboración propia

ANEXO 9

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA RESISTENCIA AL CIZALLAMIENTO

ANÁLISIS ANVA PARA FAJAS A 5m

Analysis of Variance for CIZ FAJAS, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	AdjSS	Adj MS	F	P
PRESIÓN	1	372.2	372.2	372.2	1.08	0.303
EXTENDIDO	2	282.8	282.8	141.4	0.41	0.665
PRESIÓN*EXTENDIDO	2	144.0	144.0	72.0	0.21	0.812
Error	54	18552.5	18552.5	343.6		
Total	59	19351.5				

ANÁLISIS ANVA PARA CAMPO ABIERTO

Analysis of Variance for CIZ CAMPO, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	SeqSS	Adj SS	Adj MS	F	P
PRESIÓN	1	2308.0	2308.0	2308.0	13.55	0.001
EXTENDIDO	2	1352.7	1352.7	676.3	3.97	0.025
PRESIÓN*EXTENDIDO	2	572.7	572.7	286.4	1.68	0.196
Error	54	9197.6	9197.6	170.3		
Total	59	13431.0				

FUENTE: Elaboración propia

ANEXO 10

EVALUACIÓN DE LAS UNIONES ENCOLADAS PARA MADERA TORNILLO DE FAJAS Y CAMPO ABIERTO

TRATAMIENTO SILVICULTURAL	TRATAMIENTO	RESISTENCIA AL CIZALLAMIENTO (kg/cm ²)		RELACION PORCENTUAL (%)	MADERA FALLADA (%)	CALIFICACIÓN
		MADERA SOLIDA	MADERA ENCOLADA			
FAJAS A 5m	T1	90,83	71,05	78	43	Buena
	T2	90,83	71,06	78	43	Buena
	T3	90,83	75,51	83	48	Muy buena
	T4	90,83	80,33	88	58	Muy buena
	T5	90,83	73,15	81	32	Muy buena
	T6	90,83	79,08	87	31	Muy buena
	PROMEDIO			75	83	42
CAMPO ABIERTO	T1	85,85	66,1	77	20	Regular
	T2	85,85	57,68	67	15	Mala
	T3	85,85	73,76	86	9	Buena
	T4	85,85	72,47	84	13	Buena
	T5	85,85	78,57	92	22	Muy buena
	T6	85,85	83,7	97	33	Muy buena
	PROMEDIO			72	84	19

FUENTE: *Elaboración propia*

ANEXO 11

EVALUACIONES PREVIAS AL PROCESO DE ENCOLADO

a) Contenido de humedad de las probetas empleadas

N	CODIGO	PESO INICIAL	PESO FINAL	HUMEDAD
1	F9-3-F6-T1	56,45	48,94	15,35
2	F12-2-F4-T3	36,93	32,33	14,23
3	F8-2-F3-T1	60,9	52,71	15,54
4	F8-2-F3-T4	61,49	53,28	15,41
5	P268-1-T1	55,48	48,15	15,22
6	P268-1-T5	60,36	52,46	15,06
7	P930-3-T1	66,02	57,2	15,42
8	P930-3-T2	67,53	58,51	15,42
9	P274-3-T4	64,69	56,34	14,82
10	M1	37,23	32,28	15,33
11	M2	40,04	34,61	15,69
12	M3	37,62	32,54	15,61
13	M4	37,46	32,44	15,47
PROMEDIO				15,27

FUENTE: Elaboración propia

c) Valores individuales de rugosidad para fajas

ARBOL	N ^a	CODIGO	RUGOSIDAD (μm)														PROMEDIO (μm)
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
10F3	1	12-10-2-F3 (T2-T1)	17,6	11,85	11,83	11,92	15,56	16,56	9,3	15,83	15,24	22,19	21,29	14,46	21,24	14,8	15,69
	2	12-10-2-F3 (T4-T3)	14,35	12,13	6,26	7	11,97	15,58	13,53	23,73	15,94	17,39	18,97	20,6	16,03	18,89	15,17
	3	12-10-2-F3 (T6-T5)	20,6	15,75	18,13	9,88	11,61	14,18	21,92	19,62	20,01	11,49	22,48	17,06	12,44	25,02	17,16
																PROMEDIO	16,01
9F6	4	12-9-3-F6 (T2-T1)	11,63	8,36	15,53	17,92	17,07	13,28	10,27	11,5	12,91	9,98	17,63	20,87	17,24	11,95	14,01
	5	12-9-3-F6 (T4-T3)	11,91	12,95	16,43	11,54	17,87	9,14	14,38	13,89	12,69	13,91	14,2	10,87	16,09	15,46	13,67
	6	12-9-3-F6 (T6-T5)	9,88	9,81	14,08	17	18,39	14,31	22,06	8,34	6,17	8,02	7,93	12,02	10,67	14,93	12,40
																PROMEDIO	13,36
12F4	7	12-12-2-F4 (T2-T1)	19,32	15,48	16,5	15,18	19,26	18,78	20,33	9,48	10,62	10,59	8,79	15,9	15,93	26,31	15,89
	8	12-12-2-F4 (T4-T3)	21,53	11,28	13,7	22,66	20,25	22,23	21,15	7,67	7,12	9,68	15,03	14,52	15,22	14,52	15,47
	9	12-12-2-F4 (T6-T5)	14,22	15,17	13,77	12,77	11,16	13,59	12,82	15,35	14,51	24,39	23,2	16,89	14,16	19,76	15,84
																PROMEDIO	15,73
8F3	10	12-8-2-F3 (T2-T1)	9,43	13,85	12,34	19,84	6,89	23,78	12,7	8,03	12,74	21,67	14,14	13,62	18,08	19,51	14,76
	11	12-8-2-F3 (T4-T3)	8,96	14,63	12,84	22,63	16,3	14,9	15,99	13,38	12,02	12,28	12,52	7,08	9,6	16,33	13,53
	12	12-8-2-F3 (T6-T5)	10,21	8,19	10,35	6,08	10,05	10,06	15,86	12,19	7,62	11,16	12,14	11,14	10,32	8,6	10,28
																PROMEDIO	12,86
9F9	13	12-9-1-F9 (T2-T1)	10,47	10,13	11,18	8,49	10,53	12,02	10,61	17,18	17,51	19,77	12,59	20,93	7,54	7,28	12,59
	14	12-9-1-F9 (T4-T3)	15,35	11,08	14,13	8,94	11,15	7,76	8,79	14,17	9,9	11,77	8,65	10,08	14,21	14,32	11,45
	15	12-9-1-F9 (T6-T5)	10,92	9,94	7,85	6,19	9,99	11,91	10,62	7,27	10,77	14,18	11,35	10,75	16,51	10,41	10,62
																PROMEDIO	12,86

FUENTE: Elaboración propia

d) Valores individuales de rugosidad para campo abierto

ARBOL	N ^a	CODIGO	RUGOSIDAD (μm)														PROMEDIO (μm)
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
268	1	203-268-1 (T2-T1)	7,67	14,64	10,33	13,64	8,96	11,67	11,99	25,85	15,38	17,74	11,68	15,07	7,48	14,16	13,30
	2	203-268-1 (T4-T3)	14,99	10,64	13,04	18,65	13,7	17,19	11,29	11,94	14,01	8,73	12,27	13,24	12,17	12,82	13,19
	3	203-268-1 (T6-T5)	19,26	11,24	8,94	13,36	9,3	17	12,36	11,7	13,69	7,49	13,43	7,92	7,39	12,49	11,83
																PROMEDIO	12,77
268	4	203-268-2 (T2-T1)	18,12	8,4	9,59	8,72	12,03	11,89	7,25	9,44	13,04	18,73	15,38	17,89	15,52	11,74	12,70
	5	203-268-2 (T4-T3)	16,97	8,96	10,48	8,2	11,66	10,31	11,39	11,34	11,81	10,46	9,65	11,96	15,83	18,33	11,95
	6	203-268-2 (T6-T5)	11,77	13,1	10,3	13,82	16,01	17,38	15,74	11,4	9,86	14,77	11,23	11,4	12,58	13,88	13,09
																PROMEDIO	12,58
930	7	203-930-3 (T2-T1)	7,8	9,47	8,84	8,96	9,94	10,46	14,77	8,36	12,73	10,66	12,47	15,96	7,48	13,1	10,79
	8	203-930-3 (T4-T3)	15,05	11,66	9,5	9,58	11,7	16,39	10,1	13,37	12,28	15,17	11,43	5,55	7,83	7,97	11,26
	9	203-930-3 (T6-T5)	10,32	6,7	11,01	9,34	12,68	17,68	8,1	11,27	10,09	11,8	11,98	10,57	9,36	14,12	11,07
																PROMEDIO	11,04
274	10	203-274-3 (T2-T1)	18,98	10,83	11,99	23,59	17,82	17,59	23,17	16,53	11,18	17,63	13,34	15,62	8,27	12,19	15,62
	11	203-274-3 (T4-T3)	15,31	16,32	12,99	18,86	22,47	23,58	18,63	16,76	14,98	9,5	15,77	16,8	17,16	17,06	16,87
	12	203-274-3 (T6-T5)	15,06	13,7	19	22,31	13,5	21,85	16,09	21,07	15,52	13,39	15,45	11,4	11,11	13,44	15,92
																PROMEDIO	16,14
289	13	203-289-3 (T2-T1)	17,98	11,52	10,75	9,77	6,17	10,74	12,55	15,73	15,49	13,3	10,77	15,56	14,95	12,74	12,72
	14	203-289-3 (T4-T3)	12,02	6,93	11,99	13,72	16,44	8,91	13,42	17,65	15,55	12,32	18,7	9,64	14,98	15,77	13,43
	15	203-289-3 (T6-T5)	10,56	14,02	15,5	15,29	10,14	13,88	19,34	17,6	13,97	11,64	14,11	10,06	12,8	13,94	13,78

FUENTE: Elaboración propia

ANEXO 12

CONDICIONES DE ENCOLADO EMPLEADOS

DIA	TRATAMIENTO	AREA A ENCOLAR		AREA (m ²)	FUERZA REQUERIDA (Tn)	CANTIDAD DE ADHESIVO (g)	10% mas	CANTIDAD DE ADHESIVO EN AMBAS CARAS (g)
		ANCHO (cm)	LARGO (cm)					
LUNES 23	T4	25,7	39,7	0,1020	10,20	15,30	16,83	34
MARTES 24	T3	25,7	40	0,1028	5,14	25,70	28,27	56
MIÉRCOLES 25	T5	25,7	40	0,1028	10,28	20,56	22,62	45
JUEVES 26	T6	25,25	40	0,1010	10,10	25,25	27,78	56
VIERNES 27	T2	25,5	39,7	0,1012	5,06	20,25	22,27	45
SÁBADO 28	T1	25,7	40	0,1028	5,14	15,42	16,96	34

FUENTE: Elaboración propia

ANEXO 13

DATOS TÉCNICOS DEL ADHESIVO EMPLEADO POR BRANDAN (1991) Y GONZÁLES (2006)

Rubro		Unidades	Brandan (1991)	Gonzales(2006)
Adhesivo PVA	Marca	-	Vencecola 205	Power Bond Fuller
	Viscosidad	Cps	18750	12600
	Contenido de solidos	%	46,49	32
	Resistencia al esfuerzo cortante	kg/cm ²	130-175	-
Condiciones de encolado	Temperatura ambiental	°C	16	18
	Humedad relativa	%	78	68
	Tiempo de exposición (abierto)	minutos	-	1
	Tiempo de ensamble (cerrado)	minutos	-	30
	Tiempo bajo presión	horas	-	14
	Tiempo de acondicionamiento	dias	20	7
	Extendido de cola	g/m ²	150,200 y 250	150
	Presión de prensado	kg/cm ²	0,75 ; 10	10
	Tipo de aplicación	-	doble	doble

FUENTE: Elaboración propia

ANEXO 14

VALORES DE RESISTENCIA AL CIZALLAMIENTO Y PORCENTAJE DE MADERA FALLADA

ESPECIE	EXTENDIDO DE COLA (g/m²)	METODO DE PRENSADO							
		PRENSA UNIVERSAL (10 kg/cm²)				PRENSA TIPO C (10 kg/cm²)			
		Resistencia (kg/cm²)		Madera fallada (%)		Resistencia (kg/cm²)		Madera fallada (%)	
		Promedio	CV	Promedio	CV	Promedio	CV	Promedio	CV
Ceiba samauma (huimba negra)	150	43,48	31,07	29,93	88,75	42,76	27,49	43,73	73.69
	200	46,54	30,70	31,47	95,37	44,88	28,83	45,07	72.17
	250	44,88	32,49	45,07	141,61	49,63	23,71	48,67	82.01
Eriotheca globosa (punga colorada)	150	40,19	27,01	68,47	47,75	39,28	25,18	51,5	53.53
	200	42,65	24,42	55,40	70,88	42,71	21,96	52,6	48.68
	250	42,55	30,61	42,87	85,09	47,22	22,4	68,8	37.88
Matisia bicolor (machín sapote)	150	50,1	25,92	66,93	46,01	44,84	26,83	63,93	53.34
	200	48,68	22,84	44,4	66,05	48,4	22,43	75,53	37.33
	250	43,58	28,7	36,8	87,36	49,93	25	77,73	40.65
Matisia cordata (sapote)	150	48,08	26,96	64,8	53,53	41,85	23,44	67,4	47.57
	200	42,15	26,67	62,47	60,72	41,65	24,86	76,53	31.95
	250	43,31	21,78	64,41	43,9	43,73	21,9	80,73	30.25
PROM		44.68	27,43	51,09	73,92	44,74	24,50	62,69	50,75

FUENTE: Brandan (1991)

ANEXO 15

VALORES DE RESISTENCIA AL CIZALLAMIENTO Y PORCENTAJE DE MADERA FALLADA

<i>ESPECIE</i>	<i>EXTENDIDO DE COLA (g/m²)</i>	<i>PRENSA UNIVERSAL (10kg/cm²)</i>			
		<i>Resistencia (kg/cm²)</i>		<i>Madera fallada (%)</i>	
		<i>Promedio</i>	<i>CV</i>	<i>Promedio</i>	<i>CV</i>
Pino chuncho	150	105,60	26	22	59
Yanavara	150	133,13	21	28	90

FUENTE: Gonzales (2006)

ANEXO 16

CARACTERIZACIÓN DE DATOS

<i>Coeficiente de Variabilidad (CV)</i>	<i>Grado de Variabilidad de datos</i>
$0 < CV < 10$	Datos muy homogéneos
$10 \leq CV < 15$	Datos regularmente homogéneos
$15 \leq CV < 20$	Datos regularmente variables
$20 \leq CV < 25$	Datos variables
$CV \geq 25$	Datos muy variables

FUENTE: Rubio (1996)