

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES



**EVALUACIÓN DE TRES SISTEMAS DE
ACABADO PARA PISOS EN MADERAS
DE SHIHUAHUACO (*Dipteryx odorata*),
CAPIRONA (*Calycophyllum
spruceanum*) Y QUINILLA COLORADA
(*Manilkara bidentada*)**

Presentado por:

Rocio Emma Tapia Alva

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO FORESTAL**

Lima - Perú
2017

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Los Miembros del Jurado que suscriben, reunidos para calificar la sustentación del Trabajo de Tesis, presentado por la ex-alumna de la Facultad de Ciencias Forestales, Bach. **ROCIO EMMA TAPIA ALVA**, intitulado “EVALUACIÓN DE TRES SISTEMAS DE ACABADO PARA PISOS EN MADERAS DE SHIHUAHUACO (*Dipteryx odorata*), CAPIRONA (*Calycophyllum spruceanum*) Y QUINILLA COLORADA (*Manilkara bidentada*)”.

Oídas las respuestas a las observaciones formuladas, lo declaramos:

.....

con el calificativo de

En consecuencia queda en condición de ser considerada APTA y recibir el título de INGENIERO FORESTAL.

La Molina, 29 de noviembre de 2016

.....
Mg. Sc. Manuel Chavesta Custodio
Presidente

.....
Mg. Sc. Julio César Canchucaja Rojas
Miembro

.....
Lic. Deysi Guzmán Loayza
Miembro

.....
Mg. Sc. Miguel Ángel Meléndez Cárdenas
Asesor

.....
Ing. Aldo Lopez Iturriaga
Coasesor

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a Rafael, mi padre y a Dora, mi madre quién a dónde quiera que vaya, sé que estará a mi lado.

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a

A mi patrocinador, el profesor Miguel Meléndez por brindarme todo su constante apoyo, conocimiento, experiencia y decisión en la realización de la tesis.

A mi Copatrocinador, el Ing. Aldo Lopez por brindarme una idea con potencialidad de desarrollo, además de su constante apoyo, asesoramiento y empuje para resolver las inquietudes que se presentaban.

A los profesores Julio Canchucaja, Enrique Gonzales Mora, Deysi Guzmán, al Mg. Aldo Cárdenas y al Sr. Eduardo Gonzales, por apoyarme y colaborar con los primeros y últimos pasos para que esta tesis se lleve a cabo, así como su guía, información y consejo.

A Jessica Moscoso, por el apoyo logístico y permiso para hacer uso de las instalaciones del CITEmadera y por haber apostado por este trabajo.

A los trabajadores del CITEmadera, por brindarme su apoyo, experiencia, ideas creativas y buenos ratos durante todo el proceso de ejecución de este trabajo.

A mi hermana, por haberme apoyado en cada paso durante el desarrollo de todo aquello que me propongo.

A mi mejor amiga, Jacqueline Rumaldo por los ánimos que me dedicó, la fé en mí y la motivación para continuar.

A Lourdes Durand, por su insistencia para el término de este trabajo.

Y a todos aquellos que de alguna manera contribuyeron con la realización y termino de esta investigación.

RESUMEN

El presente trabajo tuvo por finalidad la evaluación de tres materiales de recubrimiento (barniz poliuretano, barniz al agua y cera-aceite) aplicados en probetas de madera de las especies “Shihuahuaco” (*Dipteryx odorata*), “Capirona” (*Calycophyllum spruceanum*) y “Quinilla colorada” (*Manilkara bidentada*) con el fin de determinar el mejor sistema de recubrimiento para pisos. El trabajo de investigación se desarrolló en las instalaciones del Centro de Investigación Tecnológica de la madera - CITEMadera. Se trabajó con nueve paneles de 0,5 m² por especie, de los cuales se seleccionaron al azar probetas de dos dimensiones de madera de duramen, secadas al 12 ± 2% de contenido de humedad de cada una de las especies mencionadas, a las cuales se aplicó tres sistemas de acabado. El mayor rendimiento se encontró en la cera-aceite con 22,22 mL/m², seguido por el barniz al agua con 200 mL/m² y finalmente barniz poliuretano con 266,67 mL/m². Se determinó que la madera influye en el brillo, el espesor final y la resistencia de la superficie al agua, pero no influye en la dureza de los tres materiales de recubrimiento evaluados. Los sistemas de recubrimiento no afectan en gran medida la adherencia de los recubrimientos de barniz poliuretano, barniz al agua y cera-aceite por experimentar un desprendimiento por debajo del 15%, lográndose una adherencia por encima del 85%.

Palabras clave: Revestimiento, barnices, poliuretano, pisos, adherencia, desgaste.

ÍNDICE GENERAL

	Página
I. Introducción	1
II. Revisión de Literatura	3
1. Descripción de las especies	3
1.1. <i>Calycophyllum spruceanum</i> (BENTH) Hook.....	3
1.2. <i>Dipteryx odorata</i> (AUBLET) Willdenow	6
1.3. <i>Manilkara bidentata</i> (A.D.C) A. Chev.....	8
2. Acabados	12
2.1. Definición y clasificación.....	12
2.2. Factores que afectan los acabados	16
2.3. Propiedades de los acabados	19
3. Reacciones de superficie	30
3.1. Reacciones con pH	31
3.2. Reacciones en poliuretano	31
3.3. Reacciones en ácidos grasos	33
3.4. Fallas o defectos en los acabados.....	34
III. Materiales y Métodos	35
1. Lugar de ejecución	35
2. Materiales y equipos	35
2.1. Maderas.....	35
2.2. Maquinas y equipos.....	35
2.3. Materiales.....	36
3. Metodología	37
3.1. Identificación de la madera	37
3.2. Acondicionamiento y secado	38
3.3. Habilitado de probetas.....	38
3.4. Determinación de la rugosidad.....	38
3.5. Determinación del pH	39
3.6. Aplicación de los sistemas de acabado.....	39
3.7. Codificación de las probetas.....	40
3.8. Realización de ensayos	40
4. Análisis estadístico	45
IV. Resultados y discusión	46
1. Rendimiento de los materiales de recubrimiento	46
2. Rugosidad superficial	47
3. pH de las maderas	48
4. Brillo	48
5. Espesor de película seca	51
6. Dureza	55
7. Adherencia	58
8. Resistencia a la abrasión	62
8.1. Pérdida de peso	62
8.2. Índice de desgaste	65
8.3. Ciclos de desgaste por mil	68
9. Resistencia de la superficie a líquidos fríos	71

V. Conclusiones	75
VI. Recomendaciones	76
VII. Referencias bibliográficas	77
VIII. Anexos	85

Índice de tablas

	Página
Tabla 1: Propiedades físico-mecánicas de la “Capirona”	5
Tabla 2: Propiedades físico-mecánicas del “Shihuahuaco”	7
Tabla 3: Composición química del “Shihuahuaco”	8
Tabla 4: Propiedades físico-mecánicas de la “Quinilla colorada”	10
Tabla 5: Tecnología de recubrimientos	16
Tabla 6: Geometría para la medición del Brillo.....	22
Tabla 7: Geometría para las medidas de brillo especular y aplicaciones.....	22
Tabla 8: Sistema de Codificación para Probetas	40
Tabla 9: Clasificación del Brillo.....	41
Tabla 10: Rendimiento de los materiales de recubrimiento.	46
Tabla 11: Rugosidad superficial (Ra) por especie de los paneles para ensayos de recubrimiento.....	47
Tabla 12: Análisis de Varianza para el brillo de tres materiales de recubrimiento en tres especies maderables	48
Tabla 13: Prueba de Tukey para el brillo de tres materiales de recubrimiento sobre tres especies de madera	50
Tabla 14: Parámetros estadísticos del brillo para tres materiales de recubrimiento sobre tres especies de madera	51
Tabla 15: Análisis de Varianza para el espesor de película seca de tres materiales de recubrimiento en tres especies de madera	51
Tabla 16: Prueba de Tukey para el espesor de tres materiales de recubrimiento sobre tres especies de madera	53
Tabla 17: Parámetros estadísticos del espesor de película seca para tres materiales de recubrimiento sobre tres especies de madera	54
Tabla 18: Prueba de Kruskal-Wallis para el factor Especie	55
Tabla 19: Prueba de Kruskal-Wallis para el factor Recubrimiento.....	55
Tabla 20: Parámetros estadísticos de dureza para tres materiales de recubrimiento sobre tres especies de madera	56
Tabla 21: Comparaciones múltiples para la dureza de tres materiales de recubrimiento sobre tres especies de madera	56
Tabla 22: Prueba de Kruskal-Wallis para el factor Especie	58
Tabla 23: Prueba de Kruskal-Wallis para el factor Recubrimiento.....	58

Tabla 24:	Parámetros estadísticos para la adherencia de tres materiales de recubrimiento sobre tres especies de madera	59
Tabla 25:	Comparaciones múltiples para la adherencia de tres materiales de recubrimiento sobre tres especies de madera	60
Tabla 26:	Prueba de Kruskal-Wallis para el factor Especie	62
Tabla 27:	Prueba de Kruskal-Wallis para el factor Recubrimiento.....	62
Tabla 28:	Parámetros estadísticos para la pérdida de peso de tres materiales de recubrimiento sobre tres especies de madera	63
Tabla 29:	Comparaciones múltiples para la pérdida de peso de tres materiales de recubrimiento sobre tres especies de madera	63
Tabla 30:	Prueba de Kruskal-Wallis para el factor Especie	65
Tabla 31:	Prueba de Kruskal-Wallis para el factor Recubrimiento.....	65
Tabla 32:	Parámetros estadísticos para el índice de desgaste de tres materiales de recubrimiento sobre tres especies de madera	66
Tabla 33:	Comparaciones múltiples para el índice de desgaste de tres materiales de recubrimiento sobre tres especies de madera	66
Tabla 34:	Prueba de Kruskal-Wallis para el factor Especie.	68
Tabla 35:	Prueba de Kruskal-Wallis para el factor Recubrimiento.....	68
Tabla 36:	Parámetros estadísticos para el ciclo de desgaste por mil de tres materiales de recubrimiento sobre tres especies de madera	69
Tabla 37:	Comparaciones múltiples para el Ciclo de desgaste para los materiales de recubrimiento sobre tres especies de madera	69
Tabla 38:	Prueba de Kruskal-Wallis para el factor Especie	71
Tabla 39:	Prueba de Kruskal-Wallis para el factor Recubrimiento.....	71
Tabla 40:	Parámetros estadísticos para la resistencia de la superficie al agua destilada de tres materiales de recubrimiento sobre tres especies de madera	72
Tabla 41:	Comparaciones múltiples para la resistencia de la superficie al agua destilada de tres materiales de recubrimiento sobre tres especies de madera.....	72

Índice de figuras

	Página
Figura 1: Visión esquemática de los procesos de transporte durante la penetración de un líquido que contiene material polimérico en un capilar de células de madera.....	19
Figura 2: Brillo alto	20
Figura 3: Brillo mate a semi-brillo	20
Figura 4: Medición de la reflexión especular.....	21
Figura 5: Ángulos de medida de brillo	21
Figura 6: Determinación del espesor de película d_n como el valor promedio de recubrimiento en un sustrato rugoso.....	23
Figura 7: Métodos para determinar el espesor de película	24
Figura 8: Esquema de los efectos de superficie para determinar la medición de la adhesión.....	27
Figura 9: Tipos de adhesión de los recubrimientos al sustrato	28
Figura 10: Medición del pH.....	39
Figura 11: Gráfica de Interacción del brillo para tres materiales de recubrimiento sobre tres especies.....	49
Figura 12: Gráfica de Interacción del espesor de película seca para tres materiales de recubrimiento sobre tres especies.....	52
Figura 13: Escala de dureza para tres materiales de recubrimiento sobre tres maderas.....	57
Figura 14: Clasificación de adherencia para tres materiales de recubrimiento sobre tres especies de madera.....	61
Figura 15: Pérdida de peso para tres materiales de recubrimiento sobre tres especies de madera.....	64
Figura 16: Índice de desgaste para tres materiales de recubrimiento sobre tres especies de madera.....	67
Figura 17: Ciclos de desgaste por mil para tres materiales de recubrimiento sobre tres especies de madera.....	70
Figura 18: Valoración numérica de la resistencia de la superficie al agua destilada para tres materiales de recubrimiento sobre tres especies de madera.....	74

Índice de anexos

	Página
Anexo 1 Constancia.....	85
Anexo 2 Fabricación de probetas	86
Anexo 3 Ficha técnica Barniz poliuretano	88
Anexo 4 Ficha técnica del Barniz al agua- ECOTHANE	90
Anexo 5 Ficha técnica de la cera-aceite	92
Anexo 6 Clasificación de resultados de la prueba de adherencia.....	94
Anexo 7 Código de valoración numérico descriptivo	95
Anexo 8 Rendimiento de aplicación para recubrimiento superficial con barniz poliuretano ...	96
Anexo 9 Rendimiento de aplicación para recubrimiento superficial con barniz al agua	97
Anexo 10 Rendimiento de aplicación para recubrimiento superficial con cera-aceite	97
Anexo 11 Resumen de la rugosidad promedio	98
Anexo 12 Comparaciones entre los tratamientos para la variable brillo	99
Anexo 13 Comparaciones entre los tratamientos para la variable espesor de película seca	99
Anexo 14 Análisis de la variable dureza.....	100
Anexo 15 Análisis de la variable adherencia.....	101
Anexo 16 Analisis de la variable Resistencia a la abrasión: Pérdida de peso	103
Anexo 17 Análisis de la variable Resistencia a la abrasión: Índice de desgaste	105
Anexo 18 Análisis de la variable Resistencia a la abrasión: Ciclos de desgaste por mil	107
Anexo 19 Análisis de la variable Resistencia de la superficie a líquidos fríos.....	109
Anexo 20 Registro fotográfico.....	111

I. INTRODUCCIÓN

El Perú cuenta con un vasto potencial de recursos forestales; no obstante, su aprovechamiento no contribuye significativamente a la economía, ya que el aporte del sector al PBI no llega a ser mayor del 1%. La falta de capacidad de gestión, tecnología e investigación hace menos atractiva la iniciativa de empresas privadas por invertir en la industria forestal nacional, como sucede con las empresas orientadas al mercado de pisos de madera; sin embargo, Ghezzi (Produce, 2016), señala que el sector forestal ya no estará estancado debido a la nueva reglamentación y al apoyo de los créditos para el financiamiento en actividades forestales que liberará de las trabas que anteriormente impedían su despegue; por lo que se espera un crecimiento significativo en los próximos años. Adicionalmente, se están difundiendo las herramientas y alternativas de financiamiento con las que cuentan como son COFIDE y AGROBANCO; si bien se espera que esta iniciativa sea atrayente para la economía, es necesario ver los frutos de esta inversión y estar preparados tecnológicamente para mejorar los procesos y diseño en la industria forestal.

Corzo *et al* (2011), señalan que la transformación secundaria de la madera presenta múltiples dificultades en dicho proceso como son la producción a pequeña escala, poca capacidad de respuesta ante pedidos de gran volumen, carencia de equipos y maquinaria eficiente, deficiencias en el control de calidad, ausencia de capacitación específica y asistencia técnica, poca capacidad de gestión de los empresarios, productos obtenidos no normalizados (sin estándares), gran cantidad de reprocesos y rechazos por el bajo nivel de calidad, falta de mano de obra calificada para la producción, falta de asistencia técnica en temas de diseño, desarrollo de productos y acabados.

El acabado es el primer impacto que el usuario percibe de la calidad del producto y el mercado ofrece una amplia gama de productos para dar diversos “acabados” a la madera, los cuales sirven para resaltar la belleza de algunas de ellas, realzar características como el color y la veta, o bien; para el caso de pisos, aumentar su durabilidad, resistencia a las rayaduras y buena adherencia. Sin embargo, el desconocimiento de los sistemas de acabado, técnicas de aplicación, escasa asistencia profesional e investigación en el comportamiento de distintos

materiales de recubrimiento, las relaciones entre la composición química de los recubrimientos y la estructura anatómica de la madera, sumada a las prácticas inadecuadas de manufactura, mantenimiento y las condiciones medio ambientales a que está expuesto, afectan significativamente la apariencia del producto final que requiere el consumidor.

Asimismo, la aplicación de los acabados para pisos de madera se realiza de manera poco profesional generando pérdida de insumos, tiempo, dinero y no cumplen con los estándares de calidad que el mercado y la legislación exigen; no obstante, la madera sigue siendo un recurso estratégico importante, pues su requerimiento en el mundo sigue vigente pese a los sustitutos que se pueden encontrar como pisos laminados, cerámico, alfombras, cemento pulido, etc.

Por otro lado, la presión que ejercen algunos grupos de conservación ambiental han generado cambios en las legislaciones ambientales no solo por un tema de manejo en el transporte o regulación de residuos sino también por el impacto de los solventes en el medio ambiente y en la salud de los trabajadores, quienes están expuestos a estos materiales poniendo límites a ciertos compuestos orgánicos volátiles que son parte de las formulaciones de muchos recubrimientos.

Las normativas del mercado son cada vez más estrictas respecto al uso de recubrimientos, por lo que la nueva tendencia plantea la práctica de insumos menos tóxicos y más amigables con el medio ambiente, lo cual provoca un cambio en los parámetros tradicionales que se debe estar preparado a asumir. Cabe mencionar que aún persisten debilidades en la línea de transformación secundaria que se extienden en el proceso de acabado, las cuales en su mayoría son artesanales o no están orientadas a un nicho definido, volviéndolo menos competitivo frente a productos de buena calidad que se concentran en un selecto sector de la industria.

El presente estudio tiene como finalidad evaluar el comportamiento al acabado y el rendimiento de tres materiales de recubrimiento sobre las maderas de Shihuahuaco (*Dipteryx odorata*), Capirona (*Calycophyllum spruceanum*) y Quinilla colorada (*Manilkara bidentata*), bajo condiciones estándar de ensayo. Además pretende sumar información confiable sobre las ventajas comparativas entre los recubrimientos utilizados para aumentar el valor agregado a la cadena productiva de las maderas utilizadas en el rubro de pisos.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

1. DESCRIPCIÓN DE LAS ESPECIES

1.1. *CALYCOPHYLLUM SPRUCEANUM* (BENTH) HOOK

Chavesta (2005) reporta para la especie en estudio lo siguiente:

Sinonimia: *Eukylista spruceana* Benth.

Familia: RUBIACEAE

Nombres comunes: Perú: capirona. Brasil: pau mulato. Bolivia: guayabochi, palo blanco. Colombia: capirona de altura, guayabete. Ecuador: capirona.

Nombre comercial internacional: Pau mulato

ECOLOGÍA Y DISTRIBUCIÓN

En el Perú se encuentra en los departamentos de Amazonas, San Martín, Huánuco, Loreto, Madre de Dios y Ucayali. Se localiza en los bosques primarios y secundarios, en terrenos periódicamente inundados, en las formaciones ecológicas de bosque seco tropical (bs – T), bosque húmedo tropical (bh – T) o bosque muy húmedo tropical (bmh – T). A veces crece en comunidades o “Manchales” llamadas “Capironales”. De acuerdo a inventarios el volumen bruto de esta especie varía de 0,2 m³/ha a 2,0 m³/ha o más (Confederación Nacional de la Madera, 1994). Chavesta (2005), señala que la especie se puede asociar a *Manilkara bidentata*, *Pourouma cecropiifolia*, *Guarea trichiloides*, *Genipa americana* y otras.

Reynel et al (2003), indica que la especie se distribuye en toda la Amazonia, hasta el sur de Brasil y Bolivia, debajo de los 1200 msnm. Es común en zonas de bosques secundarios, aunque se le encuentra también en los bosques primarios. Se le observa en ámbitos con pluviosidad elevada y constante, pero también en zonas con una estación seca marcada. Es una especie heliófila, frecuente en bosques secundarios pioneros y tardíos, en suelos mayormente limosos o arenosos, aluviales, fértiles, a veces temporalmente inundables y en las zonas ribereñas además de tolerar una pedregosidad elevada.

DESCRIPCIÓN DEL ÁRBOL

Árbol de 15 a 35 m. de altura, tronco de 25 a 180 cm. de D.A.P., corteza de color marrón verdosa, que se descama en placas coriáceas y aspecto gigante. (Confederación Nacional de la Madera, 1994).

Sotelo *et al.* citado por Reynel *et al.* (2003) reporta que en un estudio efectuado con semillas de diferente procedencia de la amazonia peruana, el crecimiento en altura fue de 1,4 - 1,6 m a los 6 meses y 3,5 - 4,7 m al año de edad; así mismo, Sotelo *et al.* (2003), señalan que los árboles pueden ser cosechados para postes de construcción y leña entre 2 a 3 años después de la siembra y la edad aprovechable para productos maderables varía entre 15 y 20 años.

DESCRIPCIÓN DE LA MADERA

Acevedo y Kikata (1994) añaden que en condición seca al aire, la albura es de color blanco cremoso a blanco amarillento, presenta anillos de crecimiento diferenciados por bandas oscuras de forma regular, grano recto a ligeramente entrecruzado, textura fina, brillo medio y veteado en bandas paralelas. Presenta porosidad difusa, poros no visibles a simple vista y parénquima apotraqueal difuso; por otro lado, Chavesta (2005) menciona que la especie presenta un veteado no diferenciado.

Chavesta (2005) describe las características macroscópicas y microscópicas de la madera, además de reportar sus propiedades físico-mecánicas como se visualizan en la Tabla 1.

CARACTERÍSTICAS MACROSCÓPICAS

Madera de porosidad difusa, poros muy pequeños y numerosos, visibles con lupa de 10x, solitarios y múltiples radiales de 2 a 9 en proporción similar; parénquima indistinguible aun con lupa de 10x; radios visibles con lupa de 10x y no estratificado.

CARACTERÍSTICAS MICROSCÓPICAS

Poros numerosos, en promedio 24 poros por mm², diámetro tangencial pequeño, en promedio 58 µm, platina de perforación poco a muy inclinada con perforación simple. Parénquima apotraqueal difuso, escaso, y no estratificado; radios heterogéneos tipo II, moderadamente numerosos, en promedio 6/mm, altura promedio de 320 µm. Presencia de radios fusionados en algunos casos.

Tabla 1: Propiedades físico-mecánicas de la “Capirona”

<i>Propiedades físicas</i>		<i>Propiedades Mecánicas</i>	
Densidad Básica	0,76 g/cm ³	Módulo de Ruptura en flexión	723,0 kg/cm ²
Contracción Volumétrica	15,00 %	Comprensión Paralela (RM)	283,0 kg/cm ²
Relación T/R	1,80	Comprensión Perpendicular (ELP)	67,0 kg/cm ²
Contracción Tangencial	9,00 %	Corte paralelo a las Fibras	87,0 kg/cm ²
Contracción Radial	5,00 %	Dureza de lados	425,0 kg/cm ²
		Tenacidad	2,0 kg-m

FUENTE: Chavesta (2005)

RM: Resistencia máxima

ELP: Esfuerzo al límite proporcional

COMPOSICIÓN QUIMICA

Sibille (2006) considera muy bajos los contenidos de sílice para la Capirona que bordea los 0,14%, además señala que su madera se compone de un 2,2% de extractivos, 18,6% de hemicelulosa y 59,71% de celulosa.

TRABAJABILIDAD Y USOS

No presenta dificultad en el aserrío a pesar de su elevada densidad. Genera efecto de desafilado medio. Buen comportamiento con programas de secado suave de 10 días para espesores menores de 30 mm. Para disminuir el riesgo de colapso y rajaduras requiere un tratamiento de desflamado. Difícil trabajabilidad debido a su dureza, presenta riesgos de rajaduras al clavado, permite buenos acabados. Presenta una mediana resistencia al ataque de hongos y termitas. No requiere de preservación (Confederación Nacional de la Madera, 1994).

En base a las propiedades descritas, la madera de Capirona se usa en pisos y parquet, machihembrados, tarugos, construcciones pesadas, mangos de herramientas, ebanistería y artículos para productos lácteos (Chavesta, 2005).

1.2. *DIPTERYX ODORATA* (AUBLET) WILLDENOW

Chavesta (2005) reporta para la especie en estudio lo siguiente:

Sinonimia: *Coumarouna odorata* Aubl.

Familia: FABACEAE - Papilionaceae

Nombres comunes: Perú: shihuahuaco, charapilla. Brasil: Cumarú. Bolivia: almendro, almendrillo. Colombia: charapilla.

Nombre comercial internacional: Cumarú, kumarú, Tonka.

ECOLOGÍA Y DISTRIBUCIÓN

En el Perú se encuentra principalmente en los departamentos de Loreto, San Martín y Ucayali. Según los resultados de inventarios forestales disponibles y de acuerdo a las zonas, el volumen bruto de Shihuahuaco varía entre 0,5 m³/ha a 3,0 m³/ha. Se ubican en los bosques primarios en terrenos de buen drenaje, en formación ecológica o zona de vida bosque seco tropical (bs-T) (Confederación Nacional de la Madera, 1994).

Chavesta (2005), señala que la especie se encuentra presente en Huánuco (Tingo María y Bosque Nacional de Iparia); además puede estar asociada con *Eschweilera timbuchensis*, *Protium* sp., *Sterculia* sp., *Chorsisia integrifolia*, *Guarea* sp., entre otras sobre suelos inundados.

DESCRIPCIÓN DEL ÁRBOL

Presenta fuste cilíndrico recto con altura total de 35 m., tronco de 60 a 150 cm. de diámetro, corteza externa marrón oscura o rojiza, gruesa y fisurada pero compacta, corteza interna amarilla rojiza a cremosa amarillenta, lisa y quebradiza (Confederación Nacional de la Madera, 1994).

DESCRIPCIÓN DE LA MADERA

Acevedo y Kikata (1994) señalan que en condición seca al aire, la albura y duramen son ligeramente diferenciados, la albura es de color rojo claro y el duramen rojo oscuro, presenta anillos de crecimiento diferenciados por bandas oscuras, grano entrecruzado, textura media a gruesa y brillo medio, veteados en arcos superpuestos y aspecto ceroso. Asimismo, presenta

porosidad difusa, poros visibles a simple vista, presencia de gomas, parénquima paratraqueal vasicéntrico y aliforme, presencia de células cristalíferas septadas.

Chavesta (2005), describe las características macroscópicas, microscópicas de la madera y además detalla las propiedades físico-mecánicas de la madera como se muestra en la Tabla 2.

CARACTERISTICAS MACROSCÓPICAS

Madera de porosidad difusa, poros visibles a simple vista, solitarios y escasos múltiples radiales. Parénquima visible con lupa de 10x, paratraqueal vasicentrico y aliforme; radios visibles con lupa de 10x y estratificados.

CARACTERISTICAS MICROSCÓPICAS

Pocos poros, en promedio 5 por mm², diámetro tangencial mediano, promedio de 114 µm, platina de perforación simple; parénquima paratraqueal vasicéntrico y aliforme; radios homogéneos, muy numerosos, en promedio 11/mm, altura promedio de 239 µm, exclusivamente uniseriados y estratificados. Presencia de gomas en las células de los vasos.

Tabla 2: Propiedades físico-mecánicas del “Shihuahuaco”

<i>Propiedades físicas</i>		<i>Propiedades Mecánicas</i>	
Densidad Básica	0,87 g/cm ³	Módulo de Ruptura en flexión	1286,0 kg/cm ²
Contracción Volumétrica	15,00 %	Compresión Paralela (RM)	672,0 kg/cm ²
Relación T/R	1,70	Compresión Perpendicular (ELP)	150,0 kg/cm ²
Contracción Tangencial	9,10 %	Corte paralelo a las Fibras	145,0 kg/cm ²
Contracción Radial	5,50 %	Dureza de lados	1353,0 kg/cm ²
		Tenacidad	6,2 kg-m

FUENTE: Chavesta (2005)

RM: Resistencia máxima

ELP: Esfuerzo al límite proporcional

COMPOSICIÓN QUÍMICA

Los valores del análisis químico de la especie varían ligeramente según algunos autores como se indica en la Tabla 3.

Tabla 3: Composición química del “Shihuahuaco”

<i>Holocelulosa</i>		<i>Lignina</i>		<i>Extractivos</i>		*
<i>Celulosa (%)</i>	<i>Hemicelulosa (%)</i>	<i>Soluble (%)</i>	<i>Insoluble (%)</i>	<i>Ceniza (%)</i>	<i>Extractivos orgánicos (%)</i>	
48,4	17,8	1,1	32,7	0,6	9,7	(1)
57,1 ± 0,6		30,4 ± 0,4		1,5 ± 0,2	11,1 ± 0,1	(2)
56,5 – 57,7		30-31		11 – 11.2		(3)
46,80 ± 1,42	11,53 ± 0,5	1,43 ± 0,13	34,29 ± 0,26	1,72 ± 0,15	18,32 ± 1,24	(4)

FUENTE: * 1. Santanta y Arakaki.(2007); 2. Poletto et al. (2012); 3. Poletto et al (2014); 4. Lima et al.(2014)

TRABAJABILIDAD Y USOS

El comportamiento de esta especie al aserrío es difícil pues presenta grano entrecruzado y alta dureza recomendándose estelitar las sierras. Su comportamiento en el secado es suave, de 10 días para piezas de pequeñas dimensiones como el parquet, para dimensiones mayores presenta problemas de alabeos. Buena resistencia al ataque de hongos, termitas e insectos de madera seca. No requiere preservación (Confederación Nacional de la Madera, 1994).

Además, de acuerdo a las propiedades descritas, la madera de Shihuahuaco se utiliza en estructuras, vigas, columnas, pisos machihembrados, parquet, durmientes, construcción naval, carrocerías, mangos de herramientas y parihuelas o paletas (Chavesta, 2005).

1.3. *MANILKARA BIDENTATA* (A.D.C) A. CHEV.

Chavesta (2005) reporta para la especie en estudio lo siguiente:

Sinonimia: *Manilkara surinamensis* (Miq.) Dubard, *Manilkara amazónica* (Huber) Chev, *Manilkara huberi* (Ducke) A. Chev, *Mimusops surinamensis* (Miq.)

Familia: SAPOTACEAE

Nombres comunes: Perú: quinilla, quinilla colorada, balata. Bolivia: mazaranduba. Brasil: macaranduba, massaranduba. Colombia: balata, caimitillo. Venezuela: acano, balata, cohinillo, purgo.

Nombre comercial internacional: massaranduba, balata.

ECOLOGÍA Y DISTRIBUCIÓN

En el Perú se encuentra distribuida en los departamentos de Loreto y San Martín. Se desarrolla en las formaciones ecológicas de bosque seco tropical (bs-T) y bosque húmedo tropical (bh-T), en suelos bajos de las riberas de los ríos formando rodales generalmente puros. Asociada

con *Guarea* sp., *Ficus* sp., *Cecropia* sp., *Calycophyllum spruceanum*, *Hura crepitans*, *Aniba* sp., otras (Confederación Nacional de la Madera, 1994). Chavesta (2005), agrega que la especie se encuentra presente en Ucayali (Pucallpa).

Reynel *et al.* (2003) explican que se distribuye en la Región Amazónica, mayormente debajo de los 700 msnm. Se le observa en ámbitos de pluviosidad elevada y constante. Es una especie esciófita, presente en bosques primarios, en suelos arcillosos a limosos con tendencia acida, fértiles y bien drenados, con pedregosidadd baja a media.

DESCRIPCIÓN DEL ÁRBOL

La especie arbórea alcanza una altura total de 25 m, altura comercial promedio de 13 m, D.A.P. de 90 cm, fuste cilíndrico, ramificado en la parte terminal conformando una copa abierta, amplia, redondeada, presenta aletas basales pequeñas y gruesas. Corteza externa de color pardo oscuro, de textura compacta, espesor de 15 mm, profundamente fisurada a lo largo del fuste en surcos paralelos, ritidoma leñoso en placas rectangulares. Corteza interna laminar y rosada. Segrega látex blanco, pegajoso, de sabor dulce y consistencia lechosa en forma abundante (Confederación Nacional de la Madera, 1994).

Claussi *et al.*, citado por Reynel *et al.* (2003), señala que el crecimiento promedio registrado es de 6-10 cm a los 7-10 años respectivamente, y para la altura 6-7 m en ese mismo periodo. La supervivencia es alta, del 70-90% sin mantenimiento. Un raleo (liberación) efectuado a los 7 años de establecimiento de la plantación propició un rápido incremento en el diámetro de esta especie pero ocasionó mortandad en aproximadamente 10% de los individuos. El área de la plantación fue en una terraza alta con suelos aluviales, franco-arenosos y mayormente planos.

DESCRIPCIÓN DE LA MADERA

Acevedo y Kikata (1994) complementan que, en condición seca al aire, la albura es de color crema rojiza y el duramen rojo oscuro. Anillos de crecimiento diferenciados por bandas oscuras de forma irregular, grano recto, textura fina y homogénea, brillo ausente, vetado jaspeado. Igualmente, presenta porosidad difusa. Poros visibles, solitarios de forma oval y múltiples radiales. Presencia de tñlides escleróticas con cristales, sílice y gomas. Parénquima apotraqueal difusos en agregados, no estratificados. Por otro lado, Chavesta (2005), indica

que también presenta grano entrecruzado, un vetado en arcos superpuestos ligeramente diferenciados.

Chavesta (2005) describe las características macroscópicas y microscópicas de la madera como sigue a continuación:

CARACTERISTICAS MACROSCÓPICAS

Madera de porosidad difusa, visibles con lupa de 10x de forma oval y múltiples radiales de 2 a 3 poros, presencia de tilosis taponando parcial o totalmente a los vasos; parénquima en bandas delgadas visible con lupa de 10x; radios visibles con lupa de 10x y no estratificados.

CARACTERISTICAS MICROSCÓPICAS

Poros y vasos de diámetro tangencial mediano y numerosos, en promedio de 117 μm y 16/ mm^2 , respectivamente. Platina de perforación horizontal con perforación simple; parénquima en bandas delgadas. Radios heterogéneos tipo II, biseriados y triseriados, altura promedio de 443 μm , numerosos, en promedio 11/ mm .

Aróstegui (1982), detalla sus propiedades físico-mecánicas como se visualiza en la Tabla 4.

Tabla 4: Propiedades físico-mecánicas de la “Quinilla colorada”

<i>Propiedades físicas</i>		<i>Propiedades Mecánicas</i>	
Densidad Básica	0,87 g/cm ³	Módulo de Ruptura en flexión	1204,00 kg/cm ²
Contracción Volumétrica	15,80%	Compresión Paralela (RM)	608,00 kg/cm ²
Relación T/R	1,66	Compresión Perpendicular (ELP)	140,00 kg/cm ²
Contracción Tangencial	11,01%	Corte paralelo a las Fibras	135,00 kg/cm ²
Contracción Radial	6,76%	Dureza de lados	1090,00 kg/cm ²
		Tenacidad	6,60 kg-m

FUENTE: Aróstegui (1982)

RM: Resistencia máxima

ELP: Esfuerzo al límite proporcional

COMPOSICIÓN QUÍMICA

Santana y Arakaki (2007), estiman que la composición química de la madera de Quinilla colorada (*Manilkara huberi*) está compuesta por 41,9% de celulosa, 23% de hemicelulosas, 34,2% de lignina insoluble, 0,9% de lignina soluble, 8,3% de extractivos y 0,2% de cenizas.

TRABAJABILIDAD Y USOS

Moderadamente difícil de aserrar y de excelente trabajabilidad, presenta resistencia mecánica muy alta; excelente comportamiento al cepillado al igual que al torneado, taladrado y moldurado. En lo que respecta al secado, por medios naturales es lento y ante un secado artificial sigue un programa de secado suave. Presenta una preservación muy difícil por el tratamiento de baño caliente-frío y moderadamente tratable por el tratamiento de vacío a presión (Confederación Nacional de la Madera, 1994).

La Quinilla Colorada es una madera altamente resistente al ataque de insectos, termitas y hongos; sin embargo el tiempo de almacenamiento en el bosque debe ser prudencial. Baja resistencia a insectos marinos (Confederación Nacional de la Madera, 1994).

Entre sus principales usos están en la construcción pesada, pisos, parquet, machihembrados, construcciones marinas, vigas de puentes, etc. (Chavesta, 2005). Adicional a ello en durmientes, cimientos, piezas de puente, chapas decorativas, artesanías, herramientas e instrumentos y arcos de violín (Confederación Nacional de la Madera, 1994); por otro lado Rivera (2013), menciona que también es usado por las comunidades para la construcción de viviendas, malocas, puentes comunales; así también, como madera comercial es empleada en muebles, artículos torneados, arcos, tacos de billar, instrumentos musicales. Al poseer excelentes propiedades para ser doblada al vapor, es utilizada como armazón de botes entre otros tipos de trabajo con madera doblada.

2. ACABADOS

2.1. DEFINICIÓN Y CLASIFICACIÓN

Adler (1995), emplea el término “acabado” cuando se refiere a la formación de una película que se aplica a la superficie de la madera para protegerla y resaltar su apariencia. Agrega que existen cuatro tipos básicos de acabados utilizados en carpintería: acabados penetrantes, barniz (incluyendo poliuretano), goma laca y laca.

Por otro lado, Green Seal (2005) señala que el acabado es un líquido, pasta o gel que se puede propagar finamente en la madera y existen dos tipos básicos de acabados en madera: los que forman una película o recubrimiento y los que penetran en la superficie de la madera. Las primeras, dejan una superficie dura y se puede aplicar en capas, incluyen barniz, goma laca, laca, pinturas semitransparentes basadas en agua, látex y las de color sólido. Los acabados penetrantes son a base de aceite y no secan a una película dura. Estos incluyen aceites, tales como aceite de tung, aceite de linaza, y las tintas a base de aceite.

Todo acabado en madera la protege contra rasguños, suciedad y el desgaste, mejora la belleza natural de la madera, color, veteado, grano y profundidad; protege a la madera del agua, oxidación y de los rayos ultravioletas; cambia su apariencia mediante la adición de color y oculta defectos (Green Seal, 2005).

Según Green Seal (2005) los acabados de madera pueden incluir los siguientes componentes:

- Pigmentos o colorantes utilizados en los tintes de madera para agregar color y ocultar defectos.
- Resinas para formar la película natural o sintética de estos acabados. También se denominan ligantes, especialmente cuando se utiliza en tintes o pinturas, porque tienen un aglutinante que mantiene el pigmento a la superficie de la madera. Las resinas incluyen acrílicos, vinilos, resinas alquídicas, materiales celulósicos, epoxis, poliuretanos y aceites. El tipo de resina determina la dureza del acabado, flexibilidad, y resistencia a los tintes, disolventes y agua.
- Los disolventes y/o diluyentes se utilizan para mantener el acabado en forma líquida. Se necesitan disolventes para diluir las resinas. Diluyentes se utilizan para reducir la viscosidad (espesor) del líquido. Algunos acabados contienen ambos solventes y diluyentes. Revestimientos a base de disolventes típicamente utilizan disolventes

orgánicos tales como alcoholes, cetonas, éteres de glicol, destilados de petróleo (alcoholes minerales, tolueno, xilenos y de nafta), y trementina. El disolvente en un recubrimiento a base de agua es por lo general un éter de glicol y el agua propiamente dicha.

- Otros aditivos, en cantidades más pequeñas para ajustar el tiempo de secado, actuar como espesantes, prevenir el crecimiento de hongos.

El mismo autor describe a los siguientes materiales de acabado o recubrimiento:

a) Barnices.

Técnicamente, todas las mezclas, con una resina de solvente son barnices. La goma laca usa alcohol desnaturalizado como disolvente, mientras que un barniz marino utiliza un tipo de secado vegetal (típicamente aceite de tung) combinados con resina fenólica. En el uso común de hoy, “barniz” significa una mezcla de aceite secante y una resina natural o artificial que se cocina (a menudo con un catalizador inerte metálico) para hacer un acabado transparente que se utiliza normalmente en interiores. El barniz que se cura por reacción química (polimerización), es conocido por su buena resistencia al calor, disolventes y agua. Alquídicas y barnices de poliuretano, sin embargo, pueden contener altos niveles de VOCs (compuestos orgánicos volátiles). Barnices a base de agua que utilizan polímeros de poliuretano o acrílicos emiten VOCs inferiores.

Corredor (2014), menciona que los poliuretanos forman parte de los llamados polímeros termoestables, estos se caracterizan por tener cadenas poliméricas entrecruzadas, formando una red tridimensional que no se funde. Esto se diferencia de los polímeros termoplásticos. Además los poliuretanos polimerizan irreversiblemente con calor formando una masa rígida y dura. Estos barnices especialmente formulados a base de resinas de polioliol, reaccionan químicamente con endurecedores de poliisocianatos dan lugar a polímeros reticulados de poliuretano de excelente dureza, resistencia química y mecánica.

Calvo (2014), señala que las pinturas poliuretánicas son productos de reacción de un isocianato ($-NCO$) y un polioliol ($-OH$). Se consideran pinturas de poliuretano aquellas que una vez reticuladas contienen en la cadena polimérica el grupo carbamato. El grupo carbamato puede obtenerse a través de reacciones en las que no intervengan isocianatos. Los isocianatos pueden reaccionar consigo mismos, con aminas, ureas, ácidos carboxílicos, agua y en general con aquellos productos que contienen grupos hidrógeno e hidroxilo.

b) Goma Lacas

En su forma pura, la goma laca es una resina natural segregada por el insecto laca, que se encuentra principalmente en la India y Tailandia. Se ca por evaporación ya que su solvente, el alcohol, se evapora durante el proceso. A pesar de que crea un brillo resplandeciente, el uso de goma laca es limitada debido a su susceptibilidad a los daños frente a los líquidos y calor. Útil para los retoques, ya que se adhiere bien a la mayoría de los otros acabados, también se utiliza como un sellador y de capa inferior con laca o barniz y poliuretano. Puede que no sea compatible como sellador bajo ciertos poliuretanos a causa de la cera natural que contiene (Green Seal, 2005).

c) Lacas

La laca es un acabado transparente el más adecuado para acentuar veta de la madera. Se ca rápido y es muy durable. El tipo más común es la laca de nitrocelulosa, utiliza un aglutinante hecho de un polímero natural, celulosa, que se deriva de la madera o del algodón. El diluyente de laca es una mezcla de disolventes, que puede incluir cetonas y ésteres, alcoholes, hidrocarburos de rápida evaporación tales como tolueno o xileno. Al igual que la goma laca, curten por evaporación. Sin un recubrimiento protector transparente, se puede rayar con facilidad y ser susceptibles a daños por agua. Otro inconveniente de la laca es su alto contenido de solvente.

d) Aceites naturales.

Aceites de linaza y tung son acabados penetrantes que curten al absorber oxígeno del aire, un proceso que fortalece el acabado. El aceite de linaza se extrae de las semillas de lino, este aceite hervido es usado en el acabado de la madera que ha sido mezclado con aditivos químicos para acelerar el tiempo de secado. El aceite de tung se deriva de las nueces de los árboles nativos de Asia. Estos aceites son duraderos, resistentes al agua y fácil de aplicar, pero requieren varias capas y son de secado lento. Los aceites naturales que han sido tratados con calor para aumentar el brillo y la dureza y reducir el tiempo de curado se denominan aceites polimerizados.

Para Nicks (1990), la tasa de formación de peróxidos depende del grado de instauración de los ácidos grasos presentes en el aceite. El ácido linolénico triple insaturado es el más activo, mientras el ácido oleico monoinsaturado es el menos activo. Por consiguiente, el aceite de linaza contiene una alta proporción de ácido linolénico y cuando se utiliza para modificar un

alquídico produce películas que se secan rápidamente, mientras los alquídicos modificados con aceites de soya, algodón o cártamo son más lentos, puesto que su contenido de ácido linolénico es muy bajo.

Guidice y Pereyra (2009), mencionan que los dobles enlaces intervienen en el secado de la película; en consecuencia, el número de dobles enlaces es un factor determinante de las propiedades del aceite que permiten la polimerización con el oxígeno atmosférico, catalizada por metales a temperatura ambiente, para generar puentes intra e intermoleculares que permiten la transformación del aceite en un polímero con uniones cruzadas de buenas propiedades mecánicas, químicas y con adecuada capacidad como formador de película.

e) Base de agua

Acabados a base de agua están compuestas de gotitas a base de solvente, generalmente acrílico o poliuretano y un disolvente, pudiendo ser un éter de glicol, con el funcionamiento del agua como un diluyente. Este material de acabado curte por coalescencia: las gotas de acabado se mueven más cerca y se entrelazan a medida que se evapora el agua. Evaporación mínima del solvente, fácil limpieza y buena resistencia a la abrasión, resaltan el grano de la madera aunque ofrece sólo moderada resistencia al agua, calor y solventes. Los nuevos productos a base de agua lograr un mejoramiento dramático respecto a los acabados en base a solventes en términos de emisiones de VOC, comodidad y salud del trabajador.

f) Cera

Según *Woodworker's Journal* (2014), las ceras, comercializadas en forma líquida, pasta y como barras sólidas, son formuladas en un serie de colores. Existen ceras suaves y duras; sin embargo, dicha dureza es ínfima comparada con las lacas y barnices. El hecho que presente este atributo significa que ofrecen una pequeña protección contra las ralladuras y desgaste. Derivados de una variedad de fuentes minerales, vegetales y animales; como recubrimientos, no penetran la madera sino que se asientan encima de las superficies, evitan que se oxide pero no la mejora; es decir, una vez que una capa de cera seca en la madera, se verá como recién cortada y sin ningún acabado.

Las ceras líquidas o en paste, típicamente contienen algunos solventes y estos se curan por evaporación. Prácticamente todas las ceras se disuelven en alcohol mineral o nafta, lo que es útil si se desea remover; muchas se derriten a bajas temperaturas por lo que no ofrecen mucha resistencia al calor; sin embargo, al ser impermeables, resisten derrames de líquidos.

Por otro lado, Bulian y Graystone (2009) clasifican a los recubrimientos de acuerdo a su tecnología conforme se aprecia en la Tabla 5.

Tabla 5: Tecnología de recubrimientos

<i>Tipo de recubrimiento</i>	<i>Descripción</i>
Al Solvente	Revestimiento en el que el componente volátil es predominantemente un disolvente no acuoso. La mayoría de las pinturas y lacas tradicionales se encuentran en esta categoría
Alto contenido de sólidos	Un revestimiento en disolvente, similar al anterior, pero con un alto contenido de sólidos para cumplir con la legislación.
Al Agua	Una pintura en la que el pigmento y el aglutinante se dispersan o se disuelven en una fase continua que consiste esencialmente en agua.
Recubrimientos en polvo	Un material de revestimiento libre de disolvente en forma de polvo, que después de la fusión por calor y posible de curado posterior, da una película continua.
Endurecimiento por Radiación	Recubrimiento líquido, a menudo 100% contenido de sólidos, que se convierte en un sólido por medio de radiación UV o EB

FUENTE: Bulian, F. y Graystone, J. (2009)

2.2. FACTORES QUE AFECTAN LOS ACABADOS

Para Forest Products Laboratory (2010), la anatomía de la madera, el proceso de manufactura, contenido de humedad, cambio dimensional, extractivos y variación en la edad determinan el comportamiento superficial de la madera. El rendimiento de los acabados se ve afectada por la densidad (madera temprana y tardía) y diferencia de densidades, espesor de las bandas de la madera tardía, células de los radios, vasos (tamaño y locación), contenido de extractivos e índice de crecimiento.

Como una aproximación inicial para explicar las características del acabado de la madera, el mismo autor afirma que las especies pueden ser agrupadas en:

- Fácil de acabar (en coníferas sin transición entre madera temprana y tardía, o transición gradual y para latifoliadas con poros difusos).
- Moderadamente fácil de acabar (en coníferas de transición abrupta teniendo bandas estrechas de madera tardía y para latifoliadas, porosidad semicircular).
- Difícil de acabar (transición abrupta en coníferas con bandas anchas de madera tardía y en latifoliadas, anillos porosos).

Menciona también que la porosidad difusa de las maderas duras que presentan una textura fina es más fáciles de acabar, mientras que superficies con textura gruesa requieren de mayor

preparación para su acabado. Otra propiedad de la madera como los nudos, madera juvenil, extractivos afectan los acabados.

Por otro lado Rueda (1987), señala que las propiedades de la madera que tienen mayor importancia sobre el comportamiento de los barnices son la densidad y textura, contenido de resinas, aceites y humedad, además de defectos como pueden ser los nudos.

- Densidad: Las maderas latifoliadas mejores para barnizar son las de mediana a baja densidad.
- Resinas y aceites: los aceites prolongan la vida de los barnices pero en altas concentraciones prolonga el tiempo de secado. La resina de algunas especies puede exudar a través de las capas de barniz o puede romper la capa cuando la madera se calienta por el sol.
- Contenido de humedad: Un contenido de humedad elevado puede ocasionar ampollamiento, decoloración entre otros defectos. Hay maderas que contienen sustancias coloreadas solubles en agua, pudiendo decolorar la pintura aplicada cuando la madera está excesivamente húmeda.
- Nudos y otros defectos: Los nudos producen manchas en las capas de barniz. El corte tangencial de cualquier madera con frecuencia absorbe en los nudos bastante aceite del barniz, destruyendo el brillo de la capa e inclusive pueden romper la película del barniz.

Somnmez *et al.* (2009), indica que la relación entre la madera tardía y temprana es uno de los parámetros importantes que afecta la penetración de los recubrimientos.

Martin (1997), menciona que en maderas de alta densidad, entre los elementos que lo constituyen, los poros tienen menos espacio vacío, los cuales tienen un efecto en la absorción de los recubrimientos. Además, el tamaño, forma y frecuencia son determinados por el tipo de corte (tangencial o radial.). Asimismo, el contenido de humedad es un factor crítico a considerar, ya que la madera al ser un material higroscópico al captar humedad llena el espacio vacío en la madera, lo que resulta en un obstáculo físico para la absorción del recubrimiento. Además, un alto contenido de humedad impide la reticulación de polímeros y produce un secado defectuoso que provoca una falta de adherencia del revestimiento. Fernández *et al.* (2013), agrega que es importante tener en cuenta el punto de saturación de la fibra (FSP).

Durante el secado de la madera los extractivos se transportan a la superficie en una distribución heterogénea, causando que se concentren en ciertas partes. Además, la madera calentada libera exudados que interfieren con la absorción, el curado, y el anclaje de los recubrimientos (Fernández *et al.*, 2013).

Knaebe citado por Tamarit *et al.* (2002), señala que el corte radial genera mejores acabados que en corte tangencial, este hecho muestra la ventaja de usar maderas con bajo coeficiente de contracción volumétrica. Yáñez (2006) agrega que existe una relación entre el tipo de corte, la rugosidad de la superficie y el consumo de material.

Lopez *et al* (2003), define a la rugosidad como irregularidades pequeñas y finamente separadas a lo largo de la más corta longitud de muestreo de la superficie maquinada; por otro lado Yáñez (2006) señala que la importancia de la rugosidad superficial sobre los tratamientos superficiales radica en que juega un importante rol en el rendimiento y estabilidad de estos cuando son aplicados a la madera. La “Ra” (Rugosidad Media Aritmética), corresponde a la huella digital de un sustrato, o irregularidades provocadas por la herramienta de corte o elemento utilizado en su proceso de producción.

Moura y Hernández (2006) precisa que el incremento en la rugosidad superficial mejora la humectabilidad mediante la aceleración de la difusión del líquido por capilaridad. La madera lijada se caracteriza por una capa de células aplastadas en la superficie y subsuperficie, lúmenes obstruidos por polvillo, rayaduras y paquetes de microfibrillas arrancadas de las paredes celulares. La trituración y la obstrucción de las células impiden la penetración, mientras que la fibrilación y las rayaduras aceleran la difusión del recubrimiento líquido sobre las superficies lijadas. Los beneficios de la fibrilación para la adhesión mecánica de las películas de revestimiento ya han sido demostrados para superficies de madera lijada.

Magoss (2008) menciona que el diámetro de los vasos, traqueidas y el lumen celular cortados durante el proceso de maquinado determinan fundamentalmente la profundidad de las irregularidades de la superficie.

Meijer *et al* (2001) señala que estudios anteriores han demostrado que la penetración de un revestimiento varía con la capilaridad. Los microporos en la pared celular de las células conductoras de madera, con un tamaño de 0,1-1 nm sólo permiten materiales de bajo peso molecular (aproximadamente por debajo de 3000 g/mol) para entrar en la pared celular. Las moléculas poliméricas más grandes permanecerán en el interior del capilar. El proceso

anteriormente mencionado se visualiza esquemáticamente en la Figura 1. Añade que los recubrimientos en base al agua generalmente penetran a menor profundidad en la estructura de la madera que los recubrimientos al solvente, aunque existen bastantes diferencias entre los acabados al agua dependiendo del tipo de formulación usada.

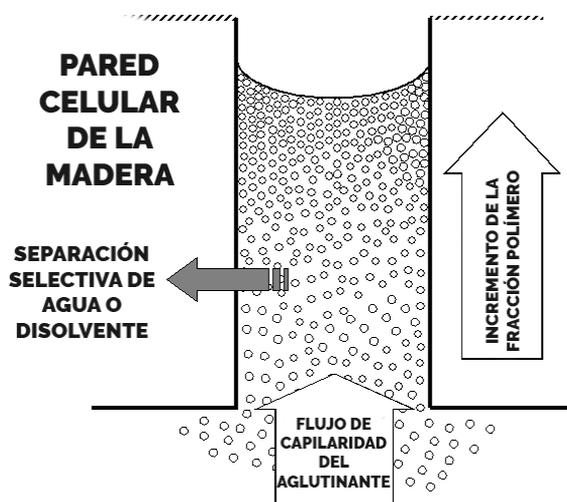


Figura 1: Visión esquemática de los procesos de transporte durante la penetración de un líquido que contiene material polimérico en un capilar de células de madera.

FUENTE: Meijer et al. (2001)

En relación con la diferente distribución celular de los revestimientos dentro de la estructura de la madera, la penetración axial es más profunda en recubrimientos al solvente. Esto puede indicar que el mecanismo de flujo básico es diferente en recubrimientos al agua y al solvente. La combinación de viscosidad, tensión superficial, velocidad de secado de los recubrimientos y diámetro de poros de la madera determinan la capacidad de penetración del recubrimiento. Con niveles bajos de viscosidad y tensión superficial la penetración se hace más profunda. (Rijckaert *et al.*, 2001).

2.3. PROPIEDADES DE LOS ACABADOS

Los sistemas de acabado otorgan ciertas características a la superficie que tienen relación con su apariencia y función protectora. Estas propiedades visuales y mecánicas deben cumplir con ciertos requerimientos que los distinguen de otros; entre ellos se tienen los siguientes:

2.3.1. BRILLO

BYK-Gardner (2015) indica que el brillo es una percepción visual como resultado de la evaluación de la superficie en la cual cuanto más luz directa se refleja, mayor percepción de brillo se obtiene y a su vez clasifica en:

- **Brillo alto:** Las superficies lisas y altamente pulidas reflejan imágenes con claridad. La luz incidente es directamente reflejada sobre la superficie; es decir, en la dirección principal de reflexión. El ángulo de incidencia es igual al ángulo de reflexión (Figura 2).

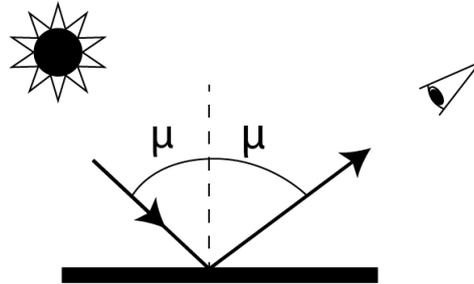


Figura 2: Brillo alto

FUENTE: BYK-Gardner (2015)

- **Brillo mate a semi-brillo:** En superficies rugosas la luz se dispersa difusamente en todas las direcciones. Por ello, la calidad de imagen formada disminuye. Un objeto reflejado ya no aparece brillante sino borroso. La luz uniforme se dispersa y la intensidad de luz reflejada es menor en la dirección principal, por lo que la superficie aparecerá mate (Figura 3).

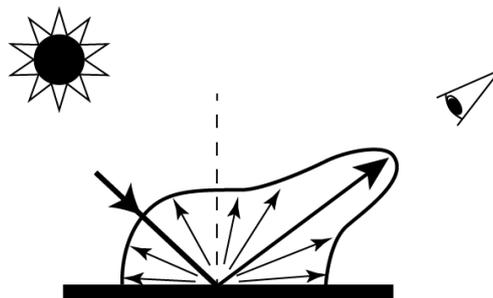


Figura 3: Brillo mate a semi-brillo

FUENTE: BYK-Gardner (2015)

El mismo autor, explica la medición de la reflexión especular con el Brillómetro, en los siguientes términos:

- La intensidad de luz reflejada, es captada por encima de un pequeño margen del ángulo de reflexión (Figura 4), depende del material y del ángulo de iluminación. En los objetos no metálicos (pinturas, plásticos), la cantidad de luz reflejada aumenta con el incremento del ángulo de iluminación. El resto de la luz iluminada penetra en el material y es absorbida o ligeramente difuminada dependiendo del color. Los metales tienen mucha mayor reflexión y no dependen tanto del ángulo como en los materiales no-metálicos.

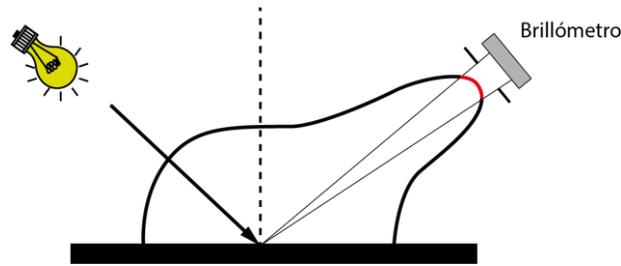


Figura 4: Medición de la reflexión especular

FUENTE: BYK-Gardner (2015)

- Los resultados de medición del brillómetro se refieren a la cantidad de luz reflejada en un patrón de calibración de cristal negro con un índice de refracción definido y no a la cantidad de luz incidente. El valor de medición de este patrón es igual a 100 unidades de brillo (calibración).
- Los materiales con un índice de refracción mayor, pueden tener valores de medida por encima de 100 unidades de brillo (UB). En caso de materiales transparentes, los valores de medición pueden verse aumentados debido a una reflexión múltiple dentro del material. A causa de la alta capacidad de reflexión de los metales, se pueden obtener valores de medida de hasta 2.000 UB. Para este tipo de aplicaciones, es frecuente indicar los resultados de las medidas en porcentaje (%) de reflexión de luz incidida.
- Los brillómetros y su procedimiento operativo, tuvieron que ser internacionalmente especificados para poder obtener resultados de medición comparativos. En la Figura 5 se muestran que el ángulo de incidencia o iluminación influye altamente. Para poder diferenciar las superficies desde altamente brillantes hasta mates, se normalizaron 3 geometrías; es decir, se definieron 3 rangos y 3 ángulos de medida como se aprecia en la Tabla 6. Adicionalmente, para aplicaciones industriales especiales, también se emplean equipos con una geometría de 45° y 75°.

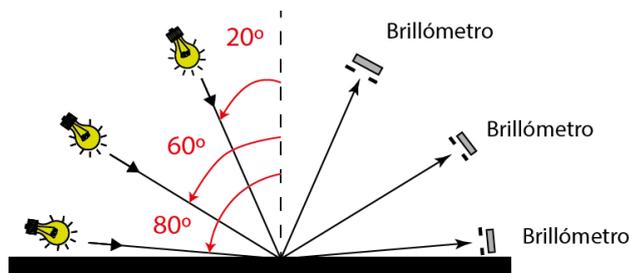


Figura 5: Ángulos de medida de brillo

FUENTE: BYK-Gardner (2015)

Tabla 6: Geometría para la medición del Brillo

BRILLO	Valor de 60°	Se mide con
Brillo medio	10 hasta 70	Geometría 60°
Brillo alto	> 70	Geometría 20°
Brillo mate	<10	Geometría 85°

FUENTE: BYK-Gardner (2015)

Nadal *et al.* (2006), define el brillo especular como la percepción del observador de la apariencia luminosa de una superficie. La medición del brillo especular compara la reflectancia luminosa especular de una muestra de ensayo a la de una superficie estándar en las mismas condiciones experimentales. Además señala que diferentes geometrías se utilizan para determinar el brillo especular de los materiales, como se indica en la Tabla 7, estas geometrías fueron seleccionadas en base a su capacidad de producir una discriminación óptima entre las muestras y que se correlaciona con la clasificación visual. Muchos documentos normados especifican las condiciones geométricas y espectrales de medición para determinar el brillo especular de las superficies.

Tabla 7: Geometría para las medidas de brillo especular y aplicaciones

Angulo de Iluminación	Aplicaciones
20°	Alto brillo para películas plásticas, dispositivos y acabados automotrices.
30°	Alto brillo de superficies con imágenes reflejadas.
45°	Porcelanato, esmaltes y plástico
60°	Todos los rangos de brillo para pinturas y plásticos
75°	Acabados en ceras y papel
85°	Bajo brillo de pinturas planas, mate y recubrimientos camuflados.

FUENTE: Nadal *et al.* (2006)

Giudice y Pereyra (2009), añaden que la opacidad, el color y el brillo de las superficies son percepciones subjetivas por la interacción de la luz con la película de las pinturas. En todos los casos se debe tener la precaución de que el ángulo de incidencia de la luz sea similar y que ésta sea de las mismas características. Los medidores de brillo son usualmente llamados “glossmeters” y cuantifican fotoeléctricamente la intensidad de un rayo de luz reflejado por la superficie, en condiciones tales que el ángulo de medida es siempre igual al de la incidencia.

La selección del ángulo de incidencia depende del brillo de la superficie a medir; así por ejemplo, para pinturas la mejor correlación con la observación visual corresponde a un ángulo de incidencia y de reflexión de 60° (Giudice y Pereyra, 2009).

Las medidas de brillo se realizan con respecto a patrones; generalmente se calibra el instrumento con un vidrio negro estándar en el extremo superior (la lectura se ajusta a 96 de la escala) y con un bloque de carbonato de magnesio en el inferior (la lectura se ajusta a 2,5). Los defectos de la película, provenientes del sustrato o de la aplicación, afectan el valor del brillo (Giudice y Pereyra, 2009).

2.3.2. ESPESOR DE PELICULA

Goldschmidt y Streitberger (2003), mencionan que altos espesores aseguran buenas propiedades de flujo, satisfactorio poder cubriente y reducida permeabilidad al vapor de agua, gases, etc. Sin embargo, espesores elevados generalmente conducen al deterioro de las propiedades físico mecánicas y consecuentemente a un desempeño en servicio menos eficiente.

Debido a la rugosidad del sustrato a ser recubierto, la determinación de un espesor de película óptimo es una tarea difícil (Figura 6). El término “espesor de película” solo puede ser definido como el valor medio en relación al método de medición y rugosidad. Por esta razón, estándares industriales suponen que el espesor de película es el resultado de mediciones las cuales han sido obtenidas previamente mediante acuerdos y métodos exactamente definidos (Goldschmidt y Streitberger, 2003).

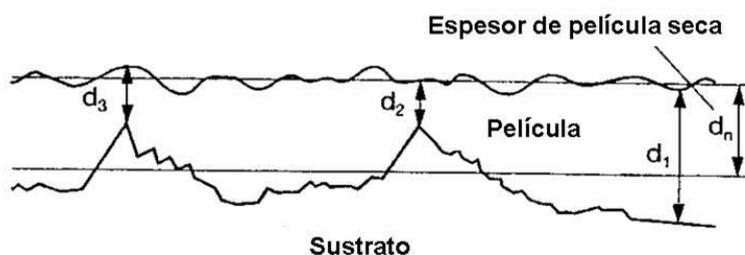


Figura 6: Determinación del espesor de película d_n como el valor promedio de recubrimiento en un sustrato rugoso.

FUENTE: Goldschmidt y Streitberger (2003)

Para evaluar la capacidad protectora de una película de pintura se deben adicionar otros criterios; esencialmente la definición de la rugosidad del sustrato como así también los espacios vacíos e irregularidades de la capa producidos durante la aplicación. Si una fuente ultrasónica con una alta frecuencia es usada, hace posible determinar el espesor de película por la media del efecto de interferencia (Goldschmidt y Streitberger, 2003).

Giudice y Pereyra (2009), señalan que la naturaleza del sustrato y las características del medio agresivo definen un espesor óptimo para cada sistema de pinturas. La distribución del espesor

de película y el valor medio óptimo son variables a controlar con el fin de asegurar la calidad del sistema. Para ensayos de laboratorio resulta usual el empleo de extendedores para obtener espesores de película aceptablemente homogéneos.

La mayoría de los métodos determina el espesor de la película aplicada y curada. Sin embargo, en muchos casos resulta de interés evaluar el espesor húmedo con el fin de realizar la corrección durante la aplicación para alcanzar un definido valor de película seca; para ello, el contenido de sólidos en volumen del producto es fundamental. En la Figura 7 se puede apreciar que los métodos de medida se clasifican para cuantificar el espesor de la película al estado húmedo y seco. Algunos de ellos se pueden emplear para ambos casos; si la película se encuentra al estado húmedo, los métodos más sencillos son el peine y la rueda; se obtienen valores de mayor precisión con fluorescencia de rayos X y ultrasonido. Para la película seca, los métodos se clasifican en destructivos y no destructivos; en el primer grupo se encuentran la cuchilla de corte y la aguja deflectora y en el segundo, los dispositivos basados en la fuerza adhesiva magnética y la inducción magnética; otros métodos se fundamentan en ultrasonido, efectos foto térmicos, etc. (Giudice y Pereyra, 2009)

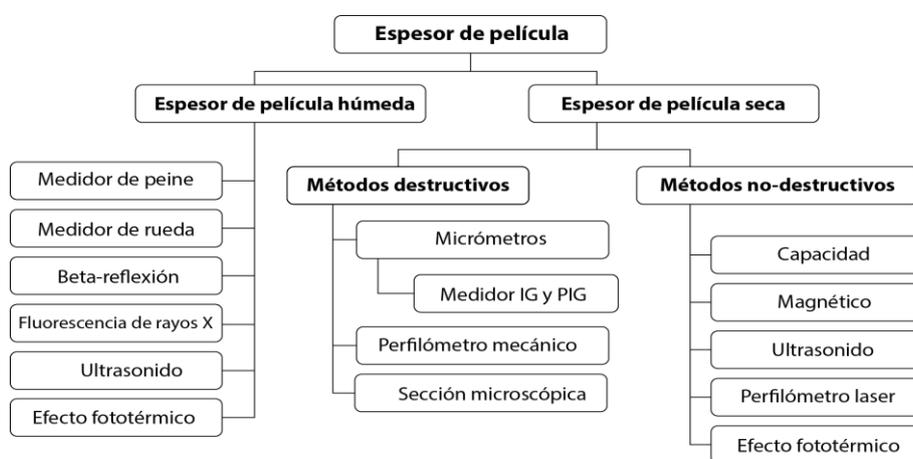


Figura 7: Métodos para determinar el espesor de película

FUENTE: Bulian, F. y Graystone, J. (2009)

Bulian y Graystone (2009) señala que algunos acabados para madera penetran en el sustrato y el concepto de espesor de película se puede malinterpretar.

Rijckaert, *et al* (2001), afirma que las pinturas en base al agua penetran en menor profundidad dentro de la madera que las pinturas al solvente.

2.3.3. ADHERENCIA

Stevenson (2003), mencionan que la adhesión es la capacidad del revestimiento a adherirse al sustrato, denominado “adhesión al sustrato”, y la capacidad del revestimiento para adherirse a múltiples capas en el sistema denominado “adherencia entre capas”.

Giudice y Pereyra (2009), señalan que la adhesión de la película de pintura es un fenómeno de naturaleza física y química; las fuerzas de adhesión propiamente dichas se manifiestan generalmente en la interfase sustrato/película mientras que las de adhesión interna (cohesión) tienen lugar entre las moléculas de la propia película. Agregan que el grado de limpieza del sustrato, la rugosidad superficial y el método de aplicación, por un lado y las variables de formulación/elaboración de la pintura por el otro inciden sobre la tensión de adhesión. La adhesión en húmedo resulta en general inferior o sensiblemente inferior a la tensión en seco. La evaluación de la tensión de adhesión involucra técnicas generalmente distintivas. Los ensayos son solo indicativos del comportamiento en servicio; sin embargo, resultan particularmente valiosos en los estudios comparativos.

Bulian y Graystone (2009) mencionan que una adecuada adhesión es un requerimiento fundamental para el buen rendimiento de los acabados ya que afecta la resistencia y durabilidad. Existen dos aspectos diferentes de la adhesión, unas relacionadas a las fuerzas atómicas o moleculares que actúan en la interfase, las cuales no son fácilmente medibles; mientras que la otra es una medida de fuerzas necesarias para separar las superficie, este aspecto es descrito mejor como “comportamiento del adhesivo”.

Para Bardage (1998) el grado de éxito logrado en formar una buena adherencia depende no solo de la naturaleza de la pintura sino también en la preparación de la superficie del sustrato. El factor crítico para mantener por largo tiempo un acabado es determinado por la interfase. Se ha desarrollado una técnica para medir las fuerzas de adhesión entre la película de pintura y la madera que ha sido ampliamente aceptada y usada, a la cual denominan Método de torque.

Un factor importante que afecta a la adherencia es la tensión interna de la película derivada de su contracción de volumen debido al secado y curado. La pérdida de compuestos volátiles implica una considerable contracción; por otra parte, los mecanismos de reticulación de los recubrimientos de secado químicos reducen el volumen libre aumentando aún más la tensión interna. Películas gruesas serán más estresadas que las películas delgadas (Bulian y Graystone, 2009).

En el caso de la variación dimensional de la madera, en respuesta al intercambio de humedad, causa que el acabado se torne tenso. Las tensiones internas generadas son un factor determinante que origina el desprendimiento espontáneo de la película del acabado. La adhesión se reduce a menudo en condiciones de humedad; este fenómeno ocurre con mayor frecuencia en recubrimientos en base al agua (Bulian y Graystone, 2009).

A pesar de que la pérdida de adherencia es a menudo una causa del desprendimiento, la madera en sí puede fallar en la cohesión, en particular si la superficie se desnaturaliza (Bulian y Graystone, 2009).

Sonmez *et al.* (2009), indica que una adecuada adhesión de la capa de barniz en la madera no se puede obtener si el contenido de humedad es muy alto; entre los mecanismos de adhesión se tienen químico, mecánico, adhesión ácido base y electrostático.

Para Stevenson (2003) hay dos factores que afectan la capacidad de los recubrimientos para adherirse al sustrato: adhesión mecánica y adhesión química.

- La adhesión mecánica se produce cuando el recubrimiento se adhiere al perfil de la superficie lijada haciendo fluir alrededor de la fibra del sustrato para asegurar mecánicamente la película a la superficie. Perfiles de lijado más profundo y más grandes aumentarán la adherencia del revestimiento, mientras que los perfiles superficiales o más lisas impedirán su capacidad de adherirse suficientemente.
- La adhesión química se refiere a la capacidad del recubrimiento para adherirse a la química de la formulación del recubrimiento, varios compuestos de la química de los recubrimientos afectan la adhesión. Los recubrimientos deben tener suficiente propiedades de humectación para penetrar en los poros de la superficie y mojar alrededor de las fibras del sustrato. La flexibilidad y las propiedades humectantes del sistema de acabados influyen en la capacidad del revestimiento a adherirse al sustrato o a cada capa del sistema de revestimiento.

Goldschmidt y Streitberger (2003), suponen que la superficie del sustrato macroscópicamente medible o superficie recubierta representa el parámetro de referencia más pragmático. El área del sustrato cuya textura es parcialmente alta por todas sus irregularidades o el área de superficie efectiva son parámetros referenciales que pueden ser considerados (Figura 8).

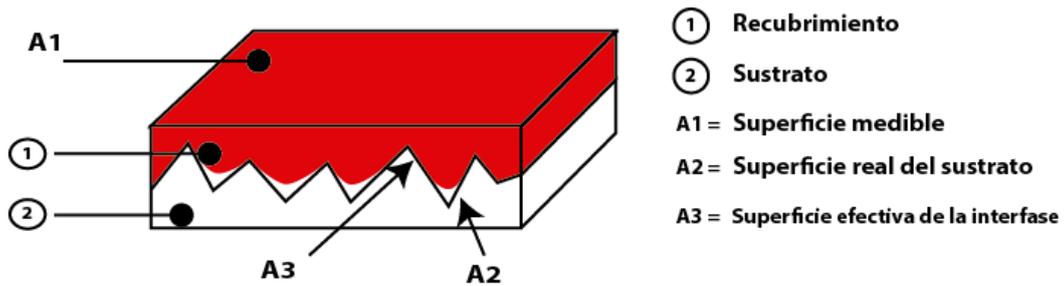


Figura 8: Esquema de los efectos de superficie para determinar la medición de la adhesión.

FUENTE: Goldschmidt y Streitberger (2003)

Se establecen diferentes causas de la interacción entre un recubrimiento y el sustrato; las explicaciones van desde la fijación mecánica del recubrimiento en las cavidades y fisuras del sustrato (teoría de anclaje mecánico) y fijación de moléculas del agente formador de película por difusión o contacto de cargas y la creación de fuerzas reflejadas u opuestas a través de interacciones de los grupos polares funcionales, enlaces de puente de hidrógeno o enlaces químicos entre el recubrimiento y el sustrato. Es definitivo que todos los mecanismos mencionados puedan afectar la fuerza de enlace y adhesión. Además es indiscutible que los mecanismos individuales de adhesión solo contribuyen significativamente si los prerrequisitos se conocen. El anclaje mecánico para madera es sin duda beneficioso para la fuerza de unión. También se mencionan las fuerzas de orientación (dipolo-dipolo), fuerzas de inducción (dipolo/dipolo inducido) y fuerzas de dispersión. Independientemente del tipo y las características morfológicas del sustrato, en la Figura 9 se aprecian las principales causas de la adhesión (Goldschmidt y Streitberger, 2003).

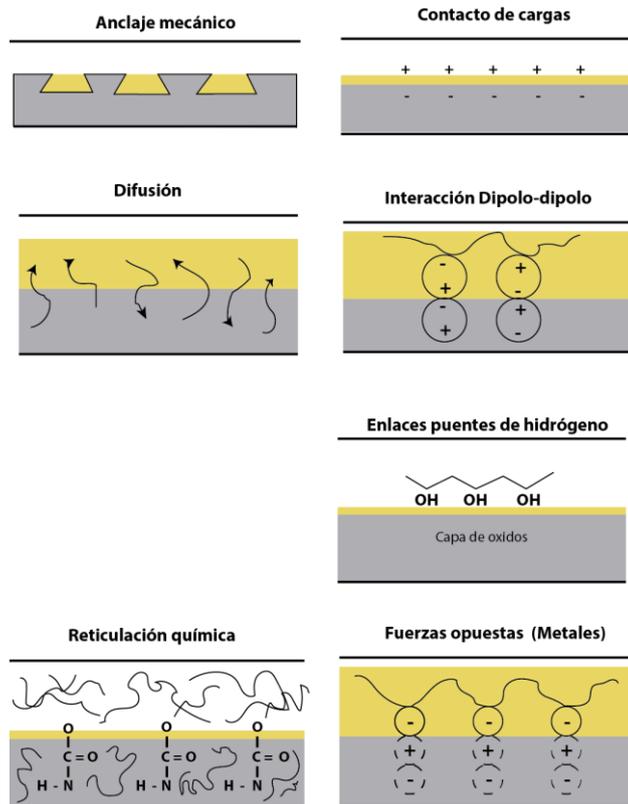


Figura 9: Tipos de adhesión de los recubrimientos al sustrato

FUENTE: Goldschmidt y Streitberger (2003)

Por último, Kúdela y Liptáková (2006), mencionan que el proceso de humectación y adhesión de la interfase entre la madera y el recubrimiento en fase líquida puede ser influenciado por constituyentes químicos de la madera así como la morfología de su superficie. Existe un número de propiedades de esas dos fases de contacto: geometría de la superficie del sustrato, viscosidad de los recubrimientos, contenido de humedad, varios estados de estrés en el sistema, etc. La penetración del líquido en el sustrato en la interfaz entre el revestimiento y material de madera es, en general, caracterizado por el cambio de ángulo de contacto. Este cambio depende del tiempo y, en un grado considerable, también en la morfología de la madera y de la geometría de la superficie externa de madera.

La humectabilidad y expansión de los materiales de recubrimiento decrece con el incremento de la viscosidad. Los materiales de recubrimiento tienen habilidad intrínseca para distribuirse sobre la superficie de madera. La adhesión de recubrimiento a la madera se incrementa durante el proceso de secado, ya que los valores de la energía libre superficial de un recubrimiento endurecido es considerablemente más alta que los valores originales de energía libre superficial del mismo recubrimiento en estado líquido (Kúdela y Liptáková, 2006).

2.3.4. DUREZA DE LA SUPERFICIE

Bulian y Graystone (2009), señalan que la dureza puede ser definida como la capacidad de la película del recubrimiento para resistir la indentación o penetración por algún objeto sólido. Además está relacionado al estado de secado dependiendo de la retención de solventes y por secado químico, en la eficacia del entrecruzamiento (formación de la matriz polimérica). La eficiencia de los sistemas de secado es entonces fundamental para lograr una adecuada dureza. Agregan que la dureza es un parámetro significativo para determinar el comportamiento del producto revestido durante su transporte, manufactura y uso. Influye también en muchas propiedades del producto final como la resistencia de la superficie al impacto, ralladuras y efectos de la abrasión.

Goldschmidt y Streitberger (2003) mencionan que el concepto de dureza tiene una gran variabilidad, unos la definen como la propiedad del material con baja capacidad de elongación; es decir, alto módulo de elasticidad, alta resistencia y cohesión o resistencia a los efectos de la abrasión. La dureza describe una propiedad mecánica que se manifiesta por la resistencia del revestimiento aplicado a la acción mecánica, además toma en cuenta el comportamiento hacia la influencia de la presión, fricción o rayado.

2.3.5. ABRASION

Goldschmidt y Streitberger (2003) señalan que la resistencia a la abrasión no solo proporciona información sobre la capacidad de un recubrimiento para soportar sin daños la influencia de los materiales abrasivos tales como arena, tierra, gravilla o corindón, sino también para el desgaste. Sin duda está vinculada funcionalmente tanto a las propiedades elásticas y las fuerzas de cohesión que se caracterizan por bucles moleculares (empaquetamiento molecular) y la interacción polar.

Bulian y Graystone (2009), definen a la abrasión como el efecto de un raspado o el roce ejercido por medios naturales o artificiales sobre la superficie. El resultado depende de la capacidad de la superficie para mantener su forma, color o el aspecto original bajo una acción abrasiva.

2.3.6. RESISTENCIA A LIQUIDOS

Bulian y Graystone (2009), mencionan que la absorción de agua, en forma de lluvia, nieve, escarcha o vapor puede dar lugar a diferentes efectos sobre la madera. La primera es la variación dimensional la que sus consecuencias están relacionadas con el uso final del producto. El movimiento dimensional además contribuye en la falla de los recubrimientos expuestos a la intemperie ya que impone una tensión en el revestimiento. La humedad atrapada debajo del revestimiento puede causar ampollamiento, además de una posible aparición de hongos; este fenómeno puede tener lugar cuando la humedad supera los valores del 20%.

La resistencia química de una superficie recubierta se puede definir como su capacidad de mantener inalterada en su apariencia cuando se someten a la acción de ciertos agentes químicos bajo condiciones específicas (Bulian y Graystone, 2009).

3. REACCIONES DE SUPERFICIE

Goldschmidt y Streitberger (2003), indican que la hidrólisis y termólisis, siempre bajo influencias del oxígeno atmosférico guía a una amplia variedad de cambios en todos los constituyentes del recubrimiento. Para mantener la protección de la superficie se debe prestar atención a los agentes macromoleculares formadores de película.

La formación de radicales es el punto de inicio en el proceso de envejecimiento y en última instancia conduce a la formación de ácido clorhídrico y CO_2 . Degradación de grupos éter en poliésteres o resinas epoxi toman lugar vía la etapa intermedia de peróxidos, los cuales sufre ruptura de cadenas moleculares causada por la luz ultravioleta (Goldschmidt y Streitberger, 2003).

Kúdela y Liptakova (2006), mencionan que el proceso de secado de un material de recubrimiento en la superficie de un sustrato abarca varios eventos mecánicos y físicos resultando en cambios en la composición química del recubrimiento sólido. Estos cambios ocurren en la interface acabado-madera estando reflejada en los valores de energía libre superficial de los recubrimientos, valores de adhesión del recubrimiento sólido a la madera y valores de cohesión dentro del mismo material de recubrimiento.

La energía libre superficial del recubrimiento endurecido es considerablemente mayor que la energía libre superficial que le corresponden en estado líquido, esto debido a la existencia de

mayores componentes polares. Este aumento resulta principalmente de las interacciones entre los componentes polares de la energía libre superficial de las fases vecinas. El incremento de adhesión se acompaña de una disminución en la energía libre interfacial en el interfaz con el sustrato (Kúdela y Liptakova, 2006).

3.1. REACCIONES CON pH

La mayoría de las maderas presentan un pH ácido por contener componentes ácidos como el ácido tánico que al entrar en contacto con productos de alto pH en ocasiones oscurece su superficie; la reacción entre un ácido y una base siempre resulta en la formación de agua y una sal. En algunos casos la sal es soluble en agua y puede ser eliminado con el lavado pero en otros casos la sal puede ser bastante insoluble y termina siendo depositado dentro de la estructura celular de la madera; asimismo cabe mencionar que la formación de cristales de ácido oxálico u oxalatos de sodio dentro de la capa superficial de la madera tendrá un impacto significativo en la adherencia a largo plazo y varios problemas de escamación (Permachink, 2014).

El pH de la madera varía entre las especies, dentro de la especie en función al sitio donde se desarrolló y dentro del mismo individuo (duramen y albura). Además el valor del pH y su capacidad de amortiguación pueden cambiar con el tiempo y condiciones de almacenamiento (Irlé, 2012).

Las soluciones alcalinas afectan con mayor gravedad a la fibra de la madera en comparación con las soluciones ácidas ya que las primeras son adsorbidas rápidamente; sin embargo, ácidos con valores de pH por encima de 2 y bases con valores por debajo de 10 no degradan las fibras en gran medida en períodos cortos de tiempo a temperaturas bajas (Rowell, 2012).

3.2. REACCIONES EN POLIURETANO

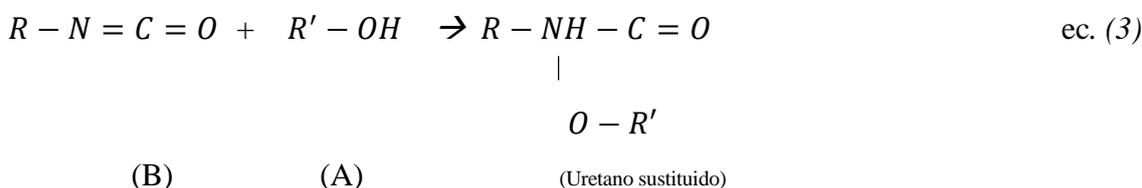
Corredor (2014), indica que el nombre asignado de poliuretano es cualquier polímero que contenga un enlace uretano en su cadena principal. Agrega que los barnices de poliuretano son el resultado de una reacción química de poliadicción por combinación de un poliisocianato con un poliéster o poliéter. La formación de la película de barniz, tiene lugar mediante una reacción química entre dos componentes o entre los grupos de isocianato libres y la humedad del aire, llamado también poliuretano de un componente cuya reacción expresada sería:



En la ecuación 1, el grupo isocianato reacciona con la humedad del aire (agua) para dar ácido carbamínico inestable y dióxido de carbono, este ácido reacciona con otro isocianato libre para dar lugar al film que queda en el soporte como se observa en la ecuación 2. Estos poliuretanos de un componente son empleados sobre todo para recubrimientos de suelos de madera en los que se requieren altas resistencias a la abrasión (Corredor, 2014).



Por otro lado, en los poliuretanos de dos componentes, la formación de la película tiene lugar principalmente por la reacción de adicción entre algún grupo isocianato y el grupo hidroxilo del poliéster o poliéter formando un uretano sustituido según la ecuación 3:



Dependiendo de las resinas que contengan tanto el componente A como el componente B se obtendrán películas con unas determinadas características (Corredor, 2014). Vignote y Martínez (2006) aclaran que el componente A está formado por una resina hidroxílica, con disolvente, diluyente, cargas y aditivos (acelerantes, pigmentos,...) mientras que el componente B por isocianatos con disolventes.

Así mismo Corredor (2014), señala que si al mezclar los dos componentes añadiéramos más catalizador del indicado, es probable que la película cure antes, pero será más frágil y correremos el peligro de que se llegue a cuartear. Si añadimos menos catalizador del indicado, la película no quedará tan dura como fuera de desear, habrá problemas de gasto excesivo de lijas en un fondo y rayados y problemas de apilado en un acabado.

Dias (2004) menciona que los componentes de reacción de los poliuretanos han de contener ácidos carboxílicos (-COOH), además de grupos hidroxílicos (-OH), para que reaccionen con los isocianatos (-NCO), y así lograr curados más rápidos. Los grupos isocianato reaccionan también con los compuestos conteniendo hidrogeno, los compuestos amínicos, el agua, los grupos libres de ácido carboxílicos, en el primer caso se originan agrupaciones de urea con desplazamiento de hidrógeno, en la reacción con compuestos que contienen agua o grupos carboxílicos se desdobra en anhídrido carbónico. Los ácidos carboxílicos en su reacción con

isocianatos dan lugar a amidas del mismo ácido y liberación de dióxido de carbono como se presenta en el ecuación 4.



3.3. REACCIONES EN ÁCIDOS GRASOS

Bernal *et al* (2006) indican que la propiedad que tienen los aceites secantes de pasar de un estado líquido a uno sólido se funda en su reacción con el oxígeno del aire y formación de estructuras tridimensionales rígidas originando un crecimiento molecular o polimerización. Puesto que la reactividad con el oxígeno se debe al doble enlace etilénico, es importante el grado de insaturación (medida por el índice de yodo) del aceite secante, así como la cantidad relativa de ácidos grasos con uno, dos, tres y/o cuatro dobles enlaces.

El fenómeno de endurecimiento produce en el aceite una agregación coloidal como consecuencia de la fuerza de atracción que opera entre los puntos de oxidación de las moléculas, grupos de oxígeno polar y enlaces de hidrógeno (Bernal *et al*, 2006). Alonso (2003), agrega que con el oxígeno atmosférico a temperatura ambiente, los ácidos grasos insaturados reaccionan espontáneamente para formar hidroperóxidos. Estos se pueden descomponer utilizando catalizadores adecuados (secantes) para producir radicales libres, los cuales, mediante una serie de complejos mecanismos, pueden conducir a la formación de reticulaciones químicas entre las cadenas de los ácidos grasos y por lo tanto controlan el secado de la película de pintura.

Salehi (2012), hace hincapié en la acción protectora de los aceites al corroborar que el ácido oleico detiene su acción auto-oxidativa y movilización al ser diluida en un solvente (heptano), mientras que ácidos poliinsaturados incrementan su auto oxidación y no son inmovilizados para un periodo posterior a los cinco días, haciendo que su efecto protector e impregnante se prolongue en el tiempo pues mejora la absorción del aceite debido a la baja viscosidad y alta energía de interacción superficial.

La penetración del aceite secante dentro de la madera depende de la viscosidad de los triglicéridos, estructura de la cadena de los ácidos grasos y co-disolvente, además de las características de la madera como porosidad y composición química (Salehi, 2012).

Salehi (2012), menciona que las interacciones de los ácidos grasos con los constituyentes de la madera durante el proceso de secado del aceite y los productos originados en la superficie de la madera después de la oxidación son factores importantes para el transporte del agua en la madera.

La lignina y los carbohidratos de la madera afectan la oxidación de ácidos grasos poliinsaturados; mientras que la estructura de la lignina retrasa el proceso de secado debido a su estructura aromática, las hemicelulosas incrementan la velocidad de oxidación de los ácidos grasos (Salehi, 2012).

3.4. FALLAS O DEFECTOS EN LOS ACABADOS

Guidice y Pereira (2009), mencionan que las características reológicas de la pintura, el método de aplicación y las condiciones ambientales influyen sobre la posible inclusión de finas o extremadamente finas burbujas de aire o bien la generación de áreas no adecuadamente humectadas.

Describen como fallas de adhesión más comunes a las siguientes:

- Ampollamiento: falla en forma de burbujas semiesféricas que contienen gas o líquido en su interior; el cual es generado por la inadecuada preparación de la superficie, sales disueltas sobre el sustrato antes de la aplicación de la pintura y componentes solubles del producto aplicados que generan el ingreso de agua o vapor de agua a través de la película que se comporta como una membrana semipermeable.
- Desprendimiento: el aspecto de la falla se corresponde con láminas eliminadas espontáneamente de una película a consecuencia de la pérdida de adhesión, frecuentemente producida por una condición húmeda.
- Escamación: se observa el desprendimiento de trozos de película, ya sea desde el sustrato o desde la capa base. Se origina con la pérdida de adhesión por tensiones internas, generalmente está precedida de cuarteo y agrietado de la película.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

1. LUGAR DE EJECUCIÓN

El presente trabajo se realizó en las instalaciones del Centro de Investigación Tecnológica de la madera – CITEmadera ubicada en Villa el Salvador.

2. MATERIALES Y EQUIPOS

2.1. MADERAS

Se utilizaron tablones de las siguientes especies:

- *Calycophyllum spruceanum* Benth (Capirona)
- *Dipteryx odorata* Aubl. (Shihuahuaco)
- *Manilkara bidentata* A. Chev (Quinilla colorada)

Para la realización de los ensayos se necesitaron nueve paneles de 0,5 m² por especie, conformadas cada una por 15 probetas de 19 x 100 x 300 mm y 5 probetas de 6 x 100 x 100 mm de madera de duramen, seca al 12 ± 2 %.

2.2. MAQUINAS Y EQUIPOS

Para el habilitado y evaluación de las probetas se utilizaron las siguientes máquinas y equipos:

- Horno experimental de 1m³ con controlador automático marca NIGOS modelo MC-502R
- Garlopa.
- Sierra circular de mesa.
- Sierra radial.
- Cepilladora.
- Escuadradora

- Lijadora eléctrica
- Rugosímetro digital Mitutoyo de 0,01µm
- pH metro.
- Brillómetro Gardner micro-tri-gloss µ con una precisión de 0.5 GU y una resolución de 0,1 GU
- Medidor de espesor de recubrimiento por ultrasonido no destructivo marca Positector 200 con una precisión de $\pm 2\mu\text{m} + 3\%$ de la medición.
- Durómetro de lápices motorizado Elcometer 3086.
- Cortador de trama cruzada marca Elcometer
- Abrasímetro TABER
- Balanza de precisión Sartorius, precisión 0,001.
- Cabina de observación.

Para la aplicación de recubrimientos superficiales se utilizaron los siguientes equipos de acabados:

- Pistola de gravedad (con tanque superior)
- Pistola convencional (con tanque inferior)
- Compresora de 80 lbs. Atlas Copco
- Cabina de pintura por cortinas de agua modelo TAP-S.

2.3. MATERIALES

- Lijas de grano P150B (grano 150), P220B (grano 220), P320B (grano 320) y P400B (grano 400) bajo el Standard Europeo FEPA (P).
- Barniz poliuretano bicomponente DD (Desmodur Desmophen): Componente A + Componente B + Disolvente en proporción 1:1:1.
- Barniz poliuretano monocomponente (Ecothane).

- Cera-aceite, OSMO 3032 Satinado. Contiene aceite de girasol, aceite de soja, aceite de cardo, cera de carnauba, cera de candelilla, parafina, secantes sin plomo y aditivos hidrófugos. Aguarrás desaromatizado, sin benceno.
- Mascarillas antigás
- Esponja
- Respirador con filtros para vapores inorgánicos.
- Guantes de nitrilo.
- Trapo industrial.
- Waipe.
- Formatos para levantamiento de datos.
- Porta minas
- Minas para lápiz con las escalas 6B, 5B, 4B, 3B, 2B, B, HB, H, F, H, 2H, 3H, 4H, 5H, 6H
- Gel Couplant Ultrasónico marca PosiTector
- Masking tape
- Ruedas abrasivas de 52,4 mm de diámetro
- Disco para refrentado S-11
- Bombilla de 1400 lumens marca Philips.
- Formatos de ensayo de recubrimiento superficial

3. METODOLOGÍA

3.1. IDENTIFICACIÓN DE LA MADERA

Las muestras de madera de las especies en estudio fueron identificadas en el Laboratorio de Anatomía de la Madera de la UNALM, conforme se aprecia en el Anexo I.

3.2. ACONDICIONAMIENTO Y SECADO

El secado de la madera de las tres especies maderables en estudio se realizó previa selección de las tablas en buen estado sanitario, color uniforme y libre de defectos. La madera de las tres especies fue secada bajo un programa lento, para evitar la aparición de defectos, en un horno experimental de una capacidad de 1 m³ hasta alcanzar un contenido de humedad de 12 ± 2%. Terminado el proceso de secado la madera se estabilizó por un par de semanas.

3.3. HABILITADO DE PROBETAS

El habilitado de la madera hasta obtener las 180 probetas y que conforman los nueve paneles de 0,5 m² por especie, se realizó de acuerdo al flujo de elaboración detallado en el Anexo 2, el cual comprendió las siguientes operaciones:

- **Listoneado:** Se realizó con la sierra circular para conseguir mediante cortes longitudinales el ancho de las probetas requeridas.
- **Despuntado:** Se realizó en la sierra radial para conseguir tablas con una longitud 90 cm y luego obtener probetas de 300 mm, mediante cortes transversales a la madera adquirida.
- **Garlopeado:** Se realizó con la garlopa con el fin de nivelar la cara y el canto de las tablas en escuadra, así como eliminar los posibles alabeos.
- **Regruesado:** Se realizó en una regruesadora o cepilladora para obtener medidas exactas de 19 mm y 6 mm en el espesor, respectivamente.
- **Lijado:** Se realizó en una lijadora eléctrica que permitía obtener ambas caras lijadas, con un grano de 80 en la trascara y 120 en la cara vista.
- **Escuadrado:** Se realizó con una sierra circular-para obtener las dimensiones finales de las probetas.

3.4. DETERMINACIÓN DE LA RUGOSIDAD

En la etapa previa al acabado se caracterizó la superficie de las probetas midiendo la rugosidad (Ra) por contacto con los paneles de trabajo que fueron lijados con el grano 220. Para la medición de la calidad superficial se empleó un rugosímetro digital y se realizaron entre cinco y seis lecturas aleatorias por panel, dando un total de 144 mediciones.

3.5. DETERMINACION DEL pH

El pH de las maderas se determinó siguiendo la norma TAPPI 252 om-98 aceptada por INDECOPI (1998), para lo cual se obtuvo el material en forma de aserrín producido por una sierra hasta obtener una muestra de 3 g de viruta que se distribuyeron en 3 vasos de precipitado donde se agregó 50 mL de agua destilada, se mezcló bien el contenido de cada vaso y se dejó reposar por una hora como se aprecia en la Figura 10, para realizar la lectura respectiva.

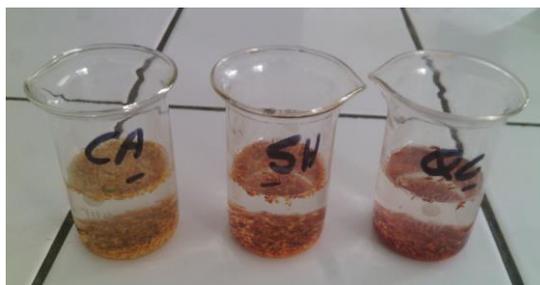


Figura 10: Medición del pH

FUENTE: Elaboración propia

3.6. APLICACIÓN DE LOS SISTEMAS DE ACABADO

La aplicación de los tres tipos de acabado (barniz poliuretano bicomponente, barniz poliuretano monocomponente y cera-aceite) cuyas fichas técnicas se muestran en los Anexos 4, 5 y 6, se realizó mediante una pistola de gravedad con tanque superior dentro de una cabina de extracción con una temperatura de 20 a 22 °C y una humedad relativa entre 30 a 70% para reducir la exposición del personal a los productos peligrosos en suspensión, evitar el ingreso del polvo, proteger el medio ambiente y obtener la calidad apropiada del acabado, además del secado adecuado de las piezas recubiertas.

El rendimiento de los materiales de recubrimiento se calculó en base al promedio por manos de cada material aplicado a un área 4,5 m² para mantener la misma unidad. La cantidad utilizada por aplicación se determinó mediante recipientes de medida de líquidos independientemente de la especie, por una cuestión de tiempo. Se aplicaron tres manos por cada material de recubrimiento.

3.7. CODIFICACIÓN DE LAS PROBETAS

Las probetas utilizadas en cada tratamiento se identificaron por especie, tipo de material de recubrimiento y número de repeticiones, de acuerdo a la nomenclatura de la Tabla 8.

Tabla 8: Sistema de Codificación para Probetas

Código	Especie	Código	Acabado	Nº de Repeticiones
CA	Capirona	BP	Barniz poliuretano	5
SH	Shihuahuaco	BA	Barniz al agua	
QC	Quinilla colorada	CE	Cera – aceite	

FUENTE: Elaboración propia

3.8. REALIZACIÓN DE ENSAYOS

A. BRILLO

Se determinó en base a la norma ASTM D523 – 08 para lo cual se tomaron cinco mediciones sistemáticas por probeta, utilizando un brillómetro con las geometrías especificadas de acuerdo a los siguientes rangos de medición:

- 0 – 1000 GU para 60°
- 0 – 2000 GU para 20°
- 0 – 150 GU para 85°

Una vez medido el brillo especular (GU o unidad de medida de brillo) con el método correspondiente a la geometría de 60°, se realizan medidas adicionales con el método correspondiente a la geometría de 20° cuando el resultado es ≥ 70 unidades (alto brillo especular) o el método correspondiente a la geometría de 85° si el resultado es ≤ 10 unidades (bajo brillo especular). En la determinación del brillo especular de la muestra recubierta debe utilizarse la misma geometría en todas las medidas.

El valor GU obtenido sobre la superficie de la probeta evaluada a través de un instrumento denominado brillómetro o medidor de brillo permitió la clasificación del sistema de acabado según el nivel de brillo establecido por la norma NTC 1335 (Tabla 9) que se detalla a continuación:

Tabla 9: Clasificación del Brillo

BRILLO	Valor de 60°
Mate	Hasta 10 gloss
Semimate	De 11 a 35 gloss
Semibrillante	De 36 a 60 gloss
Brillante	De 61 a 80 gloss
Sumamente brillante	Más de 80 gloss

FUENTE: ICONTEC (2015)

B. ESPESOR DE PELÍCULA SECA

Se realizaron cinco mediciones sistemáticas por probeta utilizando un medidor de espesor de recubrimiento con un rango de 13 a 1000 μm , para lo cual se midió el espesor sobre una aplicación de gel Couplant Ultrasonido, verificándose el equipo cada cinco lecturas con las láminas de espesores calibrados.

C. DUREZA DE PELÍCULA

Se determinó mediante la prueba del lápiz descrita en la norma ASTM 3363-05 de ASTM (2011), realizando cinco mediciones por probeta; para lo cual se colocó en una superficie horizontal nivelada y firme, manteniendo el lápiz en un ángulo de 45° con la superficie hasta cortar o rayar la película, ejerciendo una presión uniforme suficiente hacia abajo y hacia adelante. Se utilizó las minas de lápices correspondientes a la siguiente escala:

Minas de lápiz: 6B – 5B – 4B – 3B – 2B – B – HB – F – H – 2H – 3H – 4H – 5H – 6H

Escala de dureza: Suave Duro

Donde **H** (hard) significa duro y son lápices que dejan poca huella en el papel, cuanto mayor es el número mayor es su dureza; **B** (black) significa negro, son los más blandos y cuanto mayor es el número mayor es la intensidad del negro; **HB** (hard black) es un punto medio entre blando y duro tirando a blando y **F** (firm) equivale a firme, similar al HB pero tirando a duro.

La dureza de película se determinó probando un mínimo de dos durezas por mina. El ensayo se continuó hasta que la mina para lápiz no corte o raye la superficie de la película considerando como falla cualquier rasgado en la película a una distancia mínima de 3 mm.

Para la realización de este ensayo se utilizó un durómetro de lápiz motorizado que elimina las variables de uniformidad de la velocidad del carro y la variación de la fuerza aplicada (7,5 N) por el usuario cuando el medidor manual se mueve a través del revestimiento, al hacerse estas variables independientes entre sí.

D. ADHERENCIA

Se determinó el porcentaje de adherencia según la norma ASTM D3359-09, para lo cual se realizaron cinco mediciones al azar por probeta con un cortador de trama cruzada siguiendo el método de ensayo B o ensayo de las cintas cruzadas, por considerarse más adecuado para laboratorios y no es apto para películas con un espesor mayor de 125 μm (5 mil). Este método se inicia con la selección de un área libre de defectos e imperfecciones superficiales menores que se coloca sobre una base firme y bajo el lente de aumento iluminado, haciendo cortes paralelos de una longitud promedio de 20 mm, espaciados cada 2 mm en el caso de sustratos de madera con un espesor de película seca de 50 μm hasta 125 μm .

Luego se corta la película hasta el sustrato con un movimiento constante y firme, aplicando a la herramienta la presión suficiente para que el filo alcance al sustrato; después de realizado los cortes requeridos se cepilla suavemente la película con un cepillo para retirar escamas o trozos sueltos del recubrimiento.

Se examina la arista de la herramienta cortante y, si es necesario, se elimina cualquier deformación o pérdida de filo, puliendo suavemente la arista con una piedra de afilar. Luego de realizar cortes adicionales a 90° y centrados sobre los cortes originales se cepilla el área como se hizo anteriormente y se inspeccionan en las incisiones la reflexión de la luz del sustrato. Si no se ha alcanzado el sustrato, se hacen otros cortes en un sitio diferente.

Se procede a cortar un pedazo de cinta adhesiva normada de 75 mm de largo cuyo centro se coloca en la intersección de los cortes, con la cinta en la misma dirección de los ángulos más pequeños. Se alisa la cinta con un dedo en el área de las incisiones y luego se frota firmemente con el borrador de goma de un lápiz. El color transparente que queda bajo la cinta es un indicador de que se ha logrado un buen contacto.

Dentro de un período de 90 ± 30 segundos desde la aplicación, se retira la cinta tomándola por el extremo libre y halándola rápidamente (sin tirones bruscos) hacia atrás, a un ángulo lo más cercano posible a 180°.

Se verifica con la lupa iluminada en el área de corte, si el recubrimiento se ha desprendido del sustrato o de un recubrimiento previo. La calificación de la adherencia se realiza de acuerdo a la escala 0B, 1B, 2B, 3B, 4B y 5B, la cual se ilustra en el Anexo 6.

E. RESISTENCIA A LA ABRASIÓN

Se determinó en base a la norma ASTM 4060-14, la cual consiste en preparar muestras cuadradas cuyo centro presente un agujero por donde se montara la probeta. Previo al ensayo la muestra es pesada, se determina el valor promedio del espesor en cinco puntos distintos dentro del área y se colocan las pesas auxiliares según lo requerido (1000 g); así mismo, las ruedas abrasivas son limpiadas y homogenizadas antes del ensayo utilizando una lija circular S-11 para refrentar, con el fin de eliminar alguna impureza adherida a ellas.

Luego la muestra es montada en la mesa giratoria del Abrasímetro Taber asegurándose con el anillo y/o tuerca de sujeción, se regulan la boquilla de la aspiradora a una altura de 3 ± 1 mm, se colocan las ruedas abrasivas en posición, se programa el número apropiado de ciclos o se ensaya la muestra hasta observar desgaste a través de la capa de recubrimientos, para esto el equipo se detiene por intervalos para examinar la muestra. Se remueve cualquier remanente de abrasión que haya quedado sobre la muestra utilizando una brocha y finalmente se pesa la muestra.

El método de evaluación para la prueba fue considerado cuando en uno de los cuadrantes de la probeta se llegó al sustrato durante el desgaste, esto se corroboró utilizando un estereoscopio y una cuchilla que permitió ver el sustrato. Los ensayos se realizaron con un mínimo de tres repeticiones por cada tipo de recubrimiento. Finalmente se midió el desgaste bajo tres indicadores: Pérdida de peso (L), Índice de desgaste (I) y Ciclos de desgaste por mil (W).

La utilidad de este ensayo determina la resistencia al alto tránsito de los materiales de recubrimiento aplicado a diferentes sustratos. Es importante tener en cuenta que el desgaste es un fenómeno complejo que puede no ser replicado exactamente mediante un ensayo de abrasión acelerado.

Como referencia para la clasificación del desgaste se utilizó la norma HRN EN 14354:2008 que agrupa en cuatro clases la resistencia al desgaste en función al número de revoluciones teniendo: WR0 (≥ 1000), WR1 (≥ 3000), WR2 (≥ 5000) y WR3 (≥ 7000).

F. RESISTENCIA DE LA SUPERFICIE A LÍQUIDOS FRÍOS

Se realizaron cinco mediciones sistemáticas por probeta siguiendo la norma UNE-EN 12720, la cual consiste en sumergir una serie de discos de papel filtro y saturarlos con agua destilada entre 30 y 60 segundos, escurrirlos y colocarlos en la superficie de las probetas distanciándose entre ellas 60 mm entre sus centro y por lo menos 40 mm de los bordes, se cubrió con una placa Petri de vidrio y tras un periodo de tiempo de una hora, se retiró limpiándose la zona suavemente y dejándose reposar de 16 a 24 horas. Transcurrido ese tiempo la superficie de ensayo se lavó y se examinó para ver si se produjo algún tipo de daño como decoloración, cambio de brillo o de color, formación de ampollas o hinchazón. El resultado del ensayo se expresó mediante un código de valoración numérico como se observa en el Anexo 7.

Se evaluó la superficie de ensayo iluminándola con una fuente de luz con el fin de detectar cambios, inspeccionándola desde diferentes ángulos, en distintas direcciones y planos, dentro y fuera de la cabina de observación. Además, los cambios provocados por el agua destilada se determinaron tocando la superficie.

El periodo de ensayo fue elegido para simular el intervalo de tiempo que puede transcurrir antes de que un líquido se elimine manualmente; por ello, se consideró el plazo de una hora por un tema de estandarización.

La prueba se realizó con ciertas modificaciones en cuanto al uso de materiales como en el caso de las placas Petri cuyas medidas fueron de 60 y 100 mm de diámetro interno.

4. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Las variables respuestas del tipo cuantitativo se estudiaron con el fin de evaluar el efecto de los factores y luego mediante la prueba de Tukey determinar el o los mejores tratamientos, aplicando un Diseño completo al azar con arreglo factorial $3A \times 3B$, con 5 repeticiones excepto para la prueba de abrasión. Se consideraron los siguientes factores:

- Factor A: tipo de especie maderable: CA, QC, SH.
- Factor B: tipo de recubrimiento: BP, BA, CE.

Las variables del tipo cualitativo o que no cumplieron los supuestos, se evaluaron utilizando la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis.

Las probetas a ensayar fueron elegidas al azar y sin repetición por cada tratamiento, respetando siempre las condiciones de ensayo (temperatura, humedad y acondicionamiento).

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1. RENDIMIENTO DE LOS MATERIALES DE RECUBRIMIENTO

En los Anexos 8, 9 y 10 se presentan los rendimientos por cada mano aplicada para el sistema de barniz poliuretano al solvente, barniz monocomponente al agua y para la cera-aceite, observándose un rendimiento promedio de 266, 27 mL/m², 200 mL/m² y 22 mL/m², respectivamente. Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 10; cabe señalar que en los tres recubrimientos el área total aplicada para las tres especies fue de 4,5m² que correspondió a nueve paneles de 0,5m² por material de recubrimiento.

No se pudo calcular el consumo de cada sistema de acabado por especie dada la interrupción que provocaría en el proceso de acabado mermando su productividad; sin embargo, se logró el cálculo por material de recubrimiento.

Tabla 10: Rendimiento de los materiales de recubrimiento.

Recubrimiento	Rendimiento (ml/m²)				
	1^{ra} mano	2^{da} mano	3^a mano	Promedio	Fabricante
Barniz poliuretano	258,89	296,67	244,44	266,67	94,64
Barniz al agua	194,44	161,11	244,44	200,00	94,64
Cera-aceite	22,22	33,33	11,11	22,22	41,67

El mayor rendimiento equivale al menor consumo de material que, en este caso, se atribuye a la cera-aceite, pues una de sus principales funciones es penetrar en la madera y formar una superficie protectora de poro abierto que protege a la madera por dentro y por fuera sin formar película. Además, coincide con Green Sale (2005) al mencionar que es un acabado tipo penetrante y se puede suponer que al llegar a un punto de saturación, el sustrato ya no permite el ingreso de más material.

En cuanto al barniz al agua, esta ocupa el segundo lugar con mayor rendimiento y concuerda con lo afirmado por Rijckaert *et al* (2001) que las pinturas en base al agua penetran a menor profundidad y añade que están influenciados por la formulación del recubrimiento, tipo de aglutinante, tamaño de partículas del aglutinante y tipo de solvente; además supone que la

combinación de la viscosidad y la tensión superficial tiene una fuerte influencia en la penetración.

Respecto a los rendimientos teóricos que plantea el fabricante, el sistema barniz poliuretano logra un rendimiento aproximado de 120 m²/ juego¹ para una mano alcanzando junto con el barniz al agua valores similares y bajos en contraste a los valores hallados en la práctica, lo que implica que para cubrir un metro cuadrado se necesita mayor material de recubrimiento; sin embargo, el volumen a emplear es mayor en barniz poliuretano que en barniz al agua. Por otro lado, el rendimiento teórico de la cera-aceite sobreestima al obtenido en la realización del ensayo; es decir, supone un consumo de material menor como se encontró durante su ejecución.

Cabe resaltar que la preparación del material, calidad de superficie y método de aplicación pueden alterar el rendimiento final de los materiales de recubrimiento.

2. RUGOSIDAD SUPERFICIAL

En la Tabla 11 se muestran los valores de rugosidad promedio medida después del lijado con el grano de lija 220, observándose que la Quinilla colorada alcanzó un valor de 2,04 μm, seguido de la Capirona con un valor de 2,71 μm y finalmente el Shihuahuaco con un valor de 3,90 μm; los cuales según Meléndez y Bustamante (2003) pueden explicarse por la estructura anatómica, el contenido de humedad, el número de grano de lija, la forma geométrica de las piezas, la velocidad de corte y el afilado de los elementos de corte. En relación a la estructura anatómica, Magoss (2008) aclara que el diámetro de los vasos, traqueidas y el lumen celular cortados durante el proceso de maquinado influyen en la rugosidad.

Tabla 11: Rugosidad superficial (Ra) por especie de los paneles para ensayos de recubrimiento

<i>ESPECIE</i>	<i>Paneles para materiales de recubrimiento</i>			<i>RUGOSIDAD PROMEDIO (μm)</i>
	<i>Barniz Poliuretano (μm)</i>	<i>Barniz al Agua (μm)</i>	<i>Cera-Aceite (μm)</i>	
Capirona	2,62	2,88	2,63	2,71
Quinilla colorada	2,08	2,01	2,03	2,04
Shihuahuaco	3,84	3,87	3,98	3,90

¹ Cabrera, C. 2016.

3. pH DE LAS MADERAS

El pH de las maderas estudiadas se caracterizó por ser ácido, obteniéndose valores de 5,69 para la Capirona; 4,84 para la Quinilla colorada y 4,23 para el Shihuahuaco; los cuales según Albin (1975) pueden influir en la fijación y/o adhesión de las lacas y barnices sobre la superficie. De acuerdo con Sonmenz *et al.* (2009) los cambios en la acidez del sustrato afectan la adherencia y produce un cambio de coloración al utilizar disolventes alcalinos en los materiales.

Respecto a los recubrimientos utilizados, el mayor pH se aprecia en los barnices a base de agua (pH de 8,71) y el menor en los barnices al disolvente (pH de 4,01), correspondiendo un pH neutro a la cera-aceite.

4. BRILLO

De acuerdo al Análisis de Varianza de la Tabla 12, a un nivel de significancia del 5%, se determina que existe suficiente evidencia estadística para afirmar que la especie y el recubrimiento son factores que afectan el brillo, por lo que existe interacción entre los tratamientos.

Tabla 12: Análisis de Varianza para el brillo de tres materiales de recubrimiento en tres especies maderables

<i>Fuente de variación</i>	<i>G.L.</i>	<i>SC</i>	<i>CM</i>	<i>Fc</i>	<i>Sig</i>
Especie	2	492,03	246,01	7,88	Significativo
Recubrimiento	2	30782,87	15391,43	492,74	Significativo
Especie*Recubrimiento	4	1230,28	307,57	9,85	Significativo
Error Exp.	36	1124,51	31,24		
Total	44	33629,68			

Este resultado es corroborado por el gráfico de interacción que se muestra en la Figura 11, donde las líneas no son completamente paralelas para las combinaciones y mientras mayor sea la diferencia en la pendiente entre las líneas, mayor será el grado de interacción; por lo tanto, se manifiesta la influencia de ambos factores que se caracteriza por un coeficiente de variabilidad de 1,13%. Además, se puede manifestar que el Shihuahuaco, por tener un brillo natural, al aplicar una cera-aceite acentúa su brillo, lo que hace que sus valores se encuentren altamente diferenciados frente a la Capirona y Quinilla colorada.

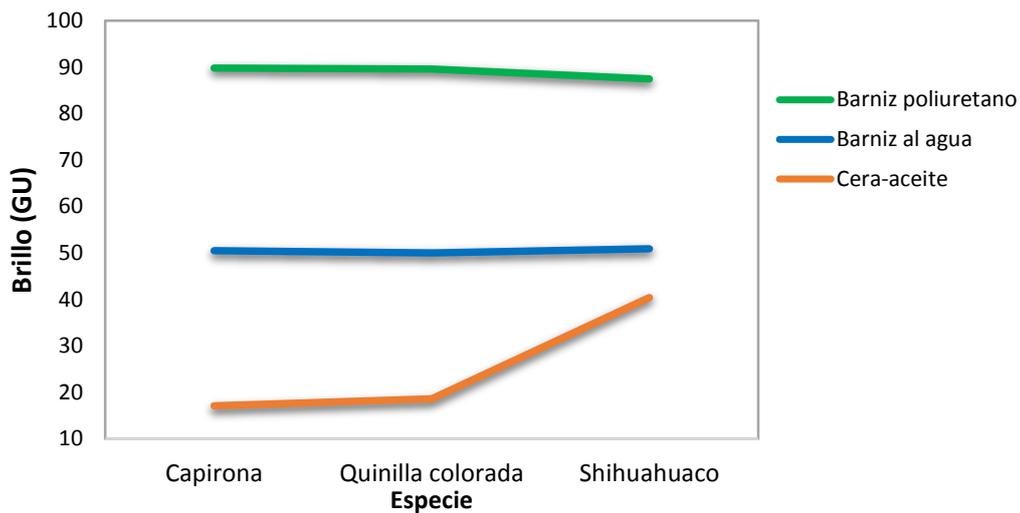


Figura 11: Gráfica de Interacción del brillo para tres materiales de recubrimiento sobre tres especies.

Los resultados obtenidos mediante la prueba de comparaciones de Tukey en la Tabla 13, muestran que existe evidencia estadística para aceptar que no hay diferencias significativas del brillo promedio entre las especies Capirona, Quinilla colorada y Shihuahuaco para el recubrimiento barniz poliuretano y barniz al agua pero sí hay diferencias entre estas especies al aplicar cera-aceite, cuyo brillo producido en el Shihuahuaco fue más alto que en Capirona y Quinilla colorada. Así mismo, existen diferencias entre el brillo promedio para los tres tipos de recubrimiento, destacando por su mayor brillo el barniz poliuretano, seguido del barniz al agua y finalmente la cera-aceite que presentó el menor brillo en las especies estudiadas.

Tabla 13: Prueba de Tukey para el brillo de tres materiales de recubrimiento sobre tres especies de madera

Comparaciones	Significancia	Comparaciones	Significancia
SHCE / SHBP	Significativo	CACE / QCCE	No significativo
SHCE / QCBP	Significativo	CACE / SHCE	Significativo
SHCE / CABP	Significativo	QCCE / SHCE	Significativo
QCBA / CABA	No significativo	CACE / QCBA	Significativo
QCBA / SHBA	No significativo	CACE / CABA	Significativo
CABA / SHBA	No significativo	CACE / SHBA	Significativo
QCBA / SHBP	Significativo	CACE / SHBP	Significativo
QCBA / QCBP	Significativo	CACE / QCBP	Significativo
QCBA / CABP	Significativo	CACE / CABP	Significativo
CABA / SHBP	Significativo	QCCE / QCBA	Significativo
CABA / QCBP	Significativo	QCCE / CABA	Significativo
CABA / CABP	Significativo	QCCE / SHBA	Significativo
SHBA / QCBP	Significativo	QCCE / SHBP	Significativo
SHBA / SHBP	Significativo	QCCE / QCBP	Significativo
SHBA / CABP	Significativo	QCCE / CABP	Significativo
SHBP / QCBP	No significativo	SHCE / QCBA	Significativo
SHBP / CABP	No significativo	SHCE / CABA	Significativo
QCBP / CABP	No significativo	SHCE / SHBA	Significativo

Teniendo en cuenta la especificación del brillo para el uso de los materiales de recubrimiento en exteriores e interiores indicada por Guidice y Pereyra (2009), Navarro (2007), el brillo de una superficie dada depende del ángulo de incidencia y de reflexión de la luz, es conveniente, para la observación visual del brillo de la película formada por los tres sistemas de acabado, seleccionar un ángulo de 60° pues para Nadal *et al* (2006) es la geometría más adecuada para ser aplicada en pinturas y plásticos. De esta manera, el nivel de brillo obtenido con el ángulo mencionado puede clasificarse según Guidice y Pereyra (2009) de la siguiente manera: 0 - 15 mate, 16 - 25 semimate, 26-50 poco brillante 51 - 70 brillante, 71 - 100 muy brillante, escala ligeramente diferente por sus límites menos conservadores en relación a la propuesta de ICONTEC (2015).

Los brillos promedios de la Tabla 14 muestran que la cera-aceite se encuentra en la escala de clasificación de un producto semimate a poco brillante, que puede ser utilizado en interiores por su capacidad para evitar las molestias causadas por la reflexión de los rayos de luz concatenados en los ojos. También que el barniz poliuretano y al agua se encuentran en la escala de los productos muy brillante y poco brillante, respectivamente; que pueden ofrecer un buen servicio en exteriores, debido a la capacidad de la película brillante para facilitar su limpieza e incrementar la intensidad de la luz reflejada. Así mismo, los altos valores del

coeficiente de variabilidad reflejan una mayor dispersión de los datos respecto a la media para el material de recubrimiento cera-aceite.

Tabla 14: Parámetros estadísticos del brillo para tres materiales de recubrimiento sobre tres especies de madera

<i>Especie</i>	<i>Recubrimiento</i>	<i>Media (GU)</i>	<i>Desviación estándar</i>	<i>Coefficiente de variabilidad</i>
Capirona	Barniz poliuretano	89,80	1,52	1,69
	Barniz al agua	50,48	0,78	1,55
	Cera-aceite	17,10	7,85	45,91
Quinilla colorada	Barniz poliuretano	89,63	1,73	1,93
	Barniz al agua	49,99	0,24	0,48
	Cera-aceite	18,60	13,35	71,77
Shihuahuaco	Barniz poliuretano	87,47	3,80	4,34
	Barniz al agua	50,95	3,56	6,79
	Cera-aceite	40,42	2,88	7,13

5. ESPESOR DE PELÍCULA SECA

De acuerdo al Análisis de Varianza de la Tabla 15, a un nivel de significancia del 5%, se puede afirmar que la especie y el recubrimiento son factores que afectan el espesor de película formada.

Tabla 15: Análisis de Varianza para el espesor de película seca de tres materiales de recubrimiento en tres especies de madera

<i>Fuente de variación</i>	<i>G.L.</i>	<i>SC</i>	<i>CM</i>	<i>Fc</i>	<i>Sig</i>
Especie	2	952,16	476,08	4,88	Significativo
Recubrimiento	2	51107,40	25553,70	262,04	Significativo
Especie*Recubrimiento	4	2142,76	535,69	5,49	Significativo
Error Exp.	36	3510,10	97,52		
Total	44	57712,42			

Este resultado es corroborado por el gráfico de interacción que se muestra en la Figura 12 donde las líneas no son paralelas para las combinaciones y mientras mayor sea la diferencia en la pendiente entre las líneas, mayor será el grado de interacción; por lo tanto, se manifiesta la influencia de los factores que se caracteriza por un coeficiente de variabilidad de 1,20%.

Además, se observa en el gráfico un incremento de espesor en Quinilla colorada pudiendo deberse a la presencia de tilosis que dificulta la impregnación del material y hace elevar el espesor de película.

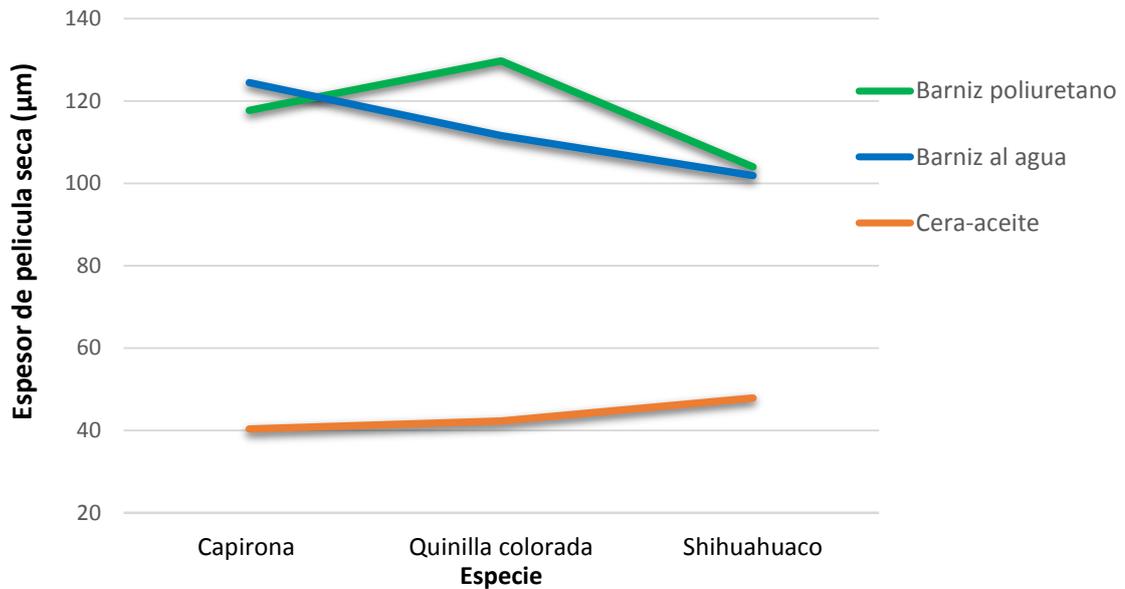


Figura 12: Gráfica de Interacción del espesor de película seca para tres materiales de recubrimiento sobre tres especies.

Por otro lado los resultados obtenidos mediante la prueba de comparaciones de Tukey que se presentan en la Tabla 16, muestran que existe evidencia estadística para aceptar que no hay diferencias significativas de espesor de película entre las especies Capirona, Quinilla colorada y Shihuahuaco al aplicar el recubrimiento cera-aceite pero sí hay diferencias entre las especies al aplicar barniz poliuretano y barniz al agua cuyo espesor generado en la Capirona y Quinilla colorada fueron más altos que en Shihuahuaco. Así mismo, existe similitud entre el espesor de película seca promedio para los recubrimientos barniz poliuretano y barniz al agua, contrario a lo que ocurre con cera-aceite que presentó el menor valor en las tres especies estudiadas.

Tabla 16: Prueba de Tukey para el espesor de tres materiales de recubrimiento sobre tres especies de madera

<i>Comparaciones</i>	<i>Significancia</i>	<i>Comparaciones</i>	<i>Significancia</i>
QCBP / CABA	No significativo	CABP / SHCE	Significativo
QCBP / CABP	No significativo	CABP / QCCE	Significativo
QCBP / QCBA	No significativo	CABP / CACE	Significativo
QCBP / SHBP	Significativo	QCBA / SHBP	No significativo
QCBP / SHBA	Significativo	QCBA / SHBA	No significativo
QCBP / SHCE	Significativo	QCBA / SHCE	Significativo
QCBP / QCCE	Significativo	QCBA / QCCE	Significativo
QCBP / CACE	Significativo	QCBA / CACE	Significativo
CABA / CABP	No significativo	SHBP / SHBA	No significativo
CABA / QCBA	No significativo	SHBP / SHCE	Significativo
CABA / SHBP	No significativo	SHBP / QCCE	Significativo
CABA / SHBA	Significativo	SHBP / CACE	Significativo
CABA / SHCE	Significativo	SHBA / SHCE	Significativo
CABA / QCCE	Significativo	SHBA / QCCE	Significativo
CABA / CACE	Significativo	SHBA / CACE	Significativo
CABP / QCBA	No significativo	SHCE / QCCE	No significativo
CABP / SHBP	No significativo	SHCE / CACE	No significativo
CABP / SHBA	No significativo	QCCE / CACE	No significativo

La razón por la que el tratamiento Shihuahuaco – cera aceite resultó con mayor espesor en comparación de las otras especies puede deberse que al utilizar el medidor de espesor por ultrasonido, este determina que tan profundo ha llegado el material, lo que para una madera bastante porosa, absorberá mayor cantidad de material y al momento de medir se puede generar una idea falsa de espesor; sin embargo, estas variaciones no se consideran significativas para un nivel de confianza de 95 %.

La Tabla 17 permite apreciar que los mayores espesores de los recubrimientos de barniz poliuretano y al agua en las tres especies además de sus coeficientes de variabilidad son atribuibles al factor rugosidad superficial del sustrato, cuya determinación constituye una importante dificultad en el acabado, considerando el proceso de lijado aplicado en base a la utilización de una secuencia de granos de lija recomendados por el fabricante de los materiales de recubrimiento.

Guidice y Pereyra (2009) atribuyen la formación de un espesor óptimo para cada sistema de pinturas a la naturaleza del sustrato y las características del medio agresivo. Por lo tanto, al haberse obtenido altos espesores en los sistemas de acabado barniz poliuretano y al agua para

las especies evaluadas, estos aseguran buenas propiedades de flujo, satisfactorio poder de recubrimiento, reducida permeabilidad al vapor de agua y gases; aunque generalmente conducen al deterioro de las propiedades físico-mecánicas y por lo tanto a un desempeño en servicio menos eficiente.

Navarro (2007), supone que teniendo distintos granos de lijado y entregando una misma cantidad del tratamiento superficial, la absorción de estos es diferente, por lo que se produce un aumento de espesor al pasar de un grano de lijado a otro. Además, encontró que el espesor de los diferentes tratamientos superficiales aumenta a medida que la rugosidad disminuye, esto podría ser explicado ya que al tener superficies más lisas estas presentan menos irregularidades en la superficie y por ende necesitan una menor cantidad de material obteniendo espesores mayores por la poca penetrabilidad del tratamiento superficial. Al comparar los espesores obtenidos por cada producto se observa que un producto mate tiende a acumular menos espesor que un poliuretano bicomponente; ciertas terminaciones mate poseen menos viscosidad y esto podría explicar una mejor penetración y por ende un menor espesor final.

Tabla 17: Parámetros estadísticos del espesor de película seca para tres materiales de recubrimiento sobre tres especies de madera

<i>Especie</i>	<i>Recubrimiento</i>	<i>Media (μm)</i>	<i>Desviación estándar</i>	<i>Coefficiente de variabilidad</i>
Capirona	Barniz poliuretano	117,72	16,13	13,70
	Barniz al agua	124,51	13,13	10,55
	Cera-aceite	40,39	1,10	2,72
Quinilla colorada	Barniz poliuretano	129,73	13,66	10,53
	Barniz al agua	111,63	7,95	7,12
	Cera-aceite	42,28	3,78	8,94
Shihuahuaco	Barniz poliuretano	103,99	5,44	5,23
	Barniz al agua	101,95	11,77	11,55
	Cera-aceite	47,93	3,41	7,12

6. DUREZA

La prueba de Kruskal-Wallis del Anexo 14 permite afirmar que los materiales de recubrimiento aplicados a las maderas de Capirona, Quinilla colorada y Shihuahuaco se diferencian en la dureza de la película formada, con un p-value de 0,000 y un estadístico mayor a la región crítica ($H= 25,06$ vs. $X^2 \text{ tab} = 11,07$). Al existir diferencias entre las categorías de dureza para los tratamientos, significa que los factores especie y/o recubrimiento influyen en la dureza obtenida.

Al comparar los niveles de cada factor como se indica en las Tablas 18 y 19, se observa que el factor especie no influyen en la dureza de la película formada, contrario a lo que ocurre al comparar los sistemas de recubrimiento entre las especies pues sí afectan significativamente la dureza de la película formada.

Tabla 18: Prueba de Kruskal-Wallis para el factor Especie

<i>Especie/ Recubrimiento</i>	<i>Barniz poliuretano</i>	<i>Barniz al agua</i>	<i>Cera-aceite</i>
Capirona	H = 4,05	H = 4,45	No se pudo determinar
Quinilla colorada	GL = 2	GL = 2	
Shihuahuaco	P = 0,132 (n.s.)	P = 0,108 (n.s.)	

NOTA: n.s. = no significativo / ** = significativo.

Tabla 19: Prueba de Kruskal-Wallis para el factor Recubrimiento

<i>Recubrimiento/ Especie</i>	<i>Capirona</i>	<i>Quinilla colorada</i>	<i>Shihuahuaco</i>
Barniz poliuretano	H = 7,45 GL = 1	H = 8,04 GL = 1	H = 7,81 GL = 1
Barniz al agua	P = 0,006 (**)	P = 0,005 (**)	P = 0,005 (**)
Cera-aceite	No se pudo determinar		

NOTA: n.s. = no significativo / ** = significativo.

La Tabla 20 muestra que para las especies que fueron recubiertas con barniz al agua la dureza de la película formada es similar entre ellas y alcanzaron una resistencia correspondiente a la mina 5B para lápiz. Ocurre de manera similar para las especies a las que se les aplicó barniz poliuretano cuya dureza de la película formada también es similar oscilando entre las minas de lápices HB y H.

Además, se observa un alto coeficiente de variabilidad en la Quinilla colorada recubierta con barniz al agua, pudiendo deberse a problemas con la aplicación del material y falta de uniformidad en el recubrimiento y/o distribución desigual en toda la superficie de la madera haciendo que el material se compactara; por lo que el generarle más espesor de película no necesariamente le brindará mayor dureza.

Tabla 20: Parámetros estadísticos de dureza para tres materiales de recubrimiento sobre tres especies de madera

<i>Especie</i>	<i>Recubrimiento</i>	<i>Mediana de la Escala de dureza</i>	<i>Desviación estándar</i>	<i>Coficiente de variabilidad</i>
Capirona	Barniz poliuretano	H	0,89	9,89
	Barniz al agua	5B	0,45	22,50
Quinilla colorada	Barniz poliuretano	HB	0,00	0,00
	Barniz al agua	6B	0,55	55,00
Shihuahuaco	Barniz poliuretano	HB	2,12	30,29
	Barniz al agua	5B	0,00	0,00

Dentro de los resultados obtenidos mediante la prueba de comparaciones múltiples de la Tabla 21, se observan diferencias significativas entre el recubrimiento barniz al agua al comparar la Quinilla colorada con Shihuahuaco. Ocurre de manera similar al comparar la Capirona y Quinilla colorada recubiertas con barniz poliuretano.

Tabla 21: Comparaciones múltiples para la dureza de tres materiales de recubrimiento sobre tres especies de madera

<i>Comparaciones</i>	<i>Significancia</i>
QCBA / CABA	No significativo
QCBA / SHBA	Significativo
QCBA / QCBP	Significativo
QCBA / SHBP	Significativo
QCBA / CABP	Significativo
CABA / SHBA	No significativo
CABA /QCBP	Significativo
CABA / SHBP	Significativo
CABA / CABP	Significativo
SHBA / QCBP	Significativo
SHBA / SHBP	Significativo
SHBA / CABP	Significativo
QCBP / SHBP	No significativo
QCBP / CABP	Significativo
SHBP / CABP	No significativo

En el caso del recubrimiento Cera-aceite no se pudo determinar la dureza de la película para todas las especies debido a que no se obtuvieron datos suficientes para generar resultados válidos con los lápices disponibles ya que, entre otras razones, el recubrimiento no formó una capa lo suficientemente gruesa, homogénea o visible a simple vista, por lo que el sustrato asumió el peso de las minas haciendo a la superficie más susceptible al rayado y/o al pintado.

Interempresas (2007), menciona que un recubrimiento se considera duro cuando sobrevive al intento de rayarlo con un lápiz 3H o superior. Por otro lado, Mac Simmons (2000) indica que la dureza del lápiz puede ser útil al comparar productos de diferentes manufacturas; sin embargo, el grado de dureza varía de producto en producto y en función al tipo de recubrimiento por ejemplo, un poliuretano presenta una dureza 3H, mientras que una cera 3B. Comparando con la dureza obtenida, para el barniz poliuretano y barniz al agua aplicados a Capirona, Quinilla colorada y Shihuahuaco, no alcanzaron la correspondiente mina 3H; por lo que se puede afirmar que ambos recubrimientos son de baja dureza.

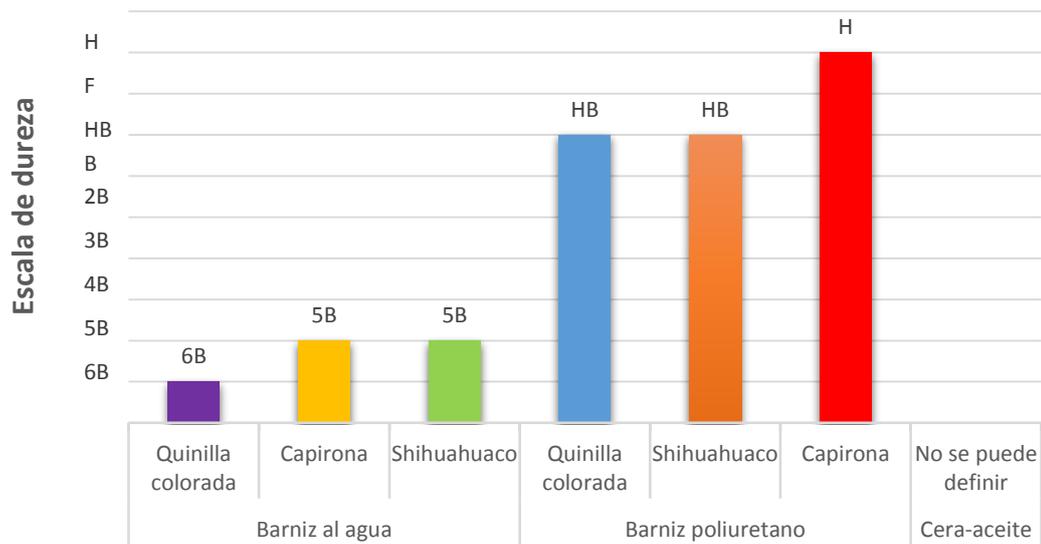


Figura 13: Escala de dureza para tres materiales de recubrimiento sobre tres maderas.

En la Figura 13, se observan diferencias en la escala de dureza entre los tratamientos. El barniz poliuretano aplicado a Capirona presenta el nivel de dureza más alto, seguidas del Shihuahuaco y la Quinilla colorada; mientras que el tratamiento Quinilla colorada barniz al agua alcanzaron un nivel bajo de dureza.

7. ADHERENCIA

De acuerdo a la prueba de Kruskal-Wallis del Anexo 15 se puede afirmar que los sistemas de acabado aplicados a las maderas de Capirona, Quinilla colorada y Shihuahuaco se diferencian en la adherencia de la película formada, con un p-value de 0,000 y un estadístico mayor a la región crítica ($H = 37,98$ vs. $X^2 \text{ tab} = 15,507$) lo que explica que en por lo menos un par de tratamientos se genera una diferencia en la clasificación de adhesión, por lo que los factores especie y/o recubrimiento influyen de manera individual o en conjunto en la adherencia obtenida.

Al comparar los niveles de cada factor como se indican en las Tablas 22 y 23, se observa que el factor especie no afecta la adherencia de la película formada al utilizar barniz al agua y cera-aceite, contrario a lo que ocurre al comparar los sistemas de recubrimiento entre las especies pues sí afectan significativamente la adherencia de la película.

Tabla 22: Prueba de Kruskal-Wallis para el factor Especie

<i>Especie/ Recubrimiento</i>	<i>Barniz poliuretano</i>	<i>Barniz al agua</i>	<i>Cera-aceite</i>
Capirona	H = 6,521	H = 4,308	H = ,000
Quinilla colorada	GL = 2	GL = 2	GL = 2
Shihuahuaco	P = 0,038 (**)	P = 0,116 (n.s.)	P = 1 (n.s.)

NOTA: n.s. = no significativo / ** = significativo.

Tabla 23: Prueba de Kruskal-Wallis para el factor Recubrimiento

<i>Recubrimiento/ Especie</i>	<i>Capirona</i>	<i>Quinilla colorada</i>	<i>Shihuahuaco</i>
Barniz poliuretano	H = 6,76	H = 13,46	H = 13,46
Barniz al agua	GL = 2	GL = 2	GL = 2
Cera-aceite	P = 0,034 (**)	P = 0,001 (**)	P = 0,001(**)

NOTA: n.s. = no significativo / ** = significativo.

La Tabla 24 permite corroborar que existen diferencias significativas entre las especies al aplicar barniz poliuretano que experimentó un desprendimiento de la película entre 5% y 15% del área evaluada. Por otro lado, para la mayoría de las especies a las que se les aplicó barniz al agua y cera aceite no presentaron diferencias significativas en la adherencia alcanzando una resistencia correspondiente a 5B.

En el caso de los sistemas de recubrimiento de barniz al agua y cera-aceite, los coeficientes de variabilidad fueron bajos lo que explica una alta concentración de datos respecto a la media y aceptando que las maderas de Capirona, Quinilla colorada y Shihuahuaco experimentaron

una adherencia similar, ya sea porque no se observó desprendimiento del material, a simple vista o con lupa de 10x.

Tabla 24: Parámetros estadísticos para la adherencia de tres materiales de recubrimiento sobre tres especies de madera

<i>Especie</i>	<i>Recubrimiento</i>	<i>Mediana de la Clasificación de adherencia</i>	<i>Desviación estándar</i>	<i>Coefficiente de variabilidad</i>
Capirona	Barniz poliuretano	4B	0,84	16,80
	Barniz al agua	5B	0,55	9,17
	Cera-aceite	5B	0,00	0,00
Quinilla colorada	Barniz poliuretano	3B	0,55	13,75
	Barniz al agua	5B	0,00	0,00
	Cera-aceite	5B	0,00	0,00
Shihuahuaco	Barniz poliuretano	3B	0,55	13,75
	Barniz al agua	5B	0,00	0,00
	Cera-aceite	5B	0,00	0,00

Los resultados obtenidos mediante la prueba de comparaciones múltiples mostrada en la Tabla 25 muestran que existen diferencias significativas en las puntuaciones de adherencia entre los recubrimientos de barniz poliuretano y cera-aceite.

También la especie Capirona manifiesta diferencias significativas entre las puntuaciones de adherencia obtenidas con el sistema de acabado barniz poliuretano, al agua y cera aceite. Sucede lo contrario con los sistemas de recubrimiento poliuretano para la Quinilla colorada y Shihuahuaco, en las cuales las puntuaciones de adherencia se manifiestan de manera similar. En el caso de Shihuahuaco y Quinilla colorada también se puede apreciar que no existen diferencias significativas al compararlas con los tres sistemas de acabado.

Según Navarro (2007) menciona que la rugosidad de la superficie asegura la adherencia; mientras que Guidice y Pereyra (2009), indican que las propiedades intrínsecas de la madera de dilatación y contracción por cambios de temperatura y humedad, así como la diferente estabilidad dimensional de la madera dura y blanda son generadores de fallas de adhesión en forma de cuarteado, agrietado y apollamiento debido a la baja permeabilidad de la película al vapor del agua, las cuales no se manifestaron en los materiales de recubrimiento aplicados a las tres especies de madera con diferente estabilidad dimensional, principalmente por el contenido de humedad de las probetas de $12\pm 2\%$, además de su acondicionamiento bajo condiciones controladas de $23\pm 2^{\circ}\text{C}$ de temperatura y 50 ± 5 de humedad relativa.

Tabla 25: Comparaciones múltiples para la adherencia de tres materiales de recubrimiento sobre tres especies de madera

Comparaciones	Significancia	Comparaciones	Significancia
CACE / SHBP	Significativo	CABP / CABA	Significativo
CACE / SHBA	No significativo	CABP / CACE	Significativo
CACE / SHCE	No significativo	CABP / QCBP	Significativo
QCBP / QCBA	Significativo	CABP / QCBA	Significativo
QCBP / QCCE	Significativo	CABP / QCCE	Significativo
QCBP / SHBP	No significativo	CABP / SHBP	Significativo
QCBP / SHBA	Significativo	CABP / SHBA	Significativo
QCBP / SHCE	Significativo	CABP / SHCE	Significativo
QCBA / QCCE	No significativo	CABA / CACE	Significativo
QCBA / SHBP	Significativo	CABA / QCBP	Significativo
QCBA / SHBA	No significativo	CABA / QCBA	Significativo
QCBA / SHCE	No significativo	CABA / QCCE	Significativo
QCCE / SHBP	Significativo	CABA / SHBP	Significativo
QCCE / SHBA	No significativo	CABA / SHBA	Significativo
QCCE / SHCE	No significativo	CABA / SHCE	Significativo
SHBP / SHBA	Significativo	CACE / QCBP	Significativo
SHBP / SHCE	Significativo	CACE / QCBA	No significativo
SHCA / SHCE	No significativo	CACE / QCCE	No significativo

En la Figura 14 se observan diferencias en la adherencia entre los materiales de recubrimiento, destacando el barniz al agua y la cera-aceite por su adherencia más alta con resultados idénticos; mientras el barniz poliuretano alcanzó una menor adherencia; lo cual concuerda con lo señalado por Hernández y Cool (2008) de que un recubrimiento en base al agua tiene mejor fuerza de adhesión que un recubrimiento al solvente, que según Landry y Blanchet (2012) el recubrimiento al solvente no permite que las fibras de la madera se hinchen ni permite abrir el grano de la madera disminuyendo su anclaje mecánico.

Sin embargo, Jaic *et al* (2014), señala que los recubrimientos en base agua son generalmente caracterizados por una adhesión débil a comparación de recubrimientos en base a solventes siendo en promedio un 30% menos pero pudiendo mejorarse con un incremento en la rugosidad de su superficie, mientras altos valores de adherencia de un poliuretano son explicados por la participación de componentes químicos en la superficie de la madera durante las reacciones de polimerización. Además, Sonmenz *et al.* (2009) considera que altos valores de pH en el recubrimiento disminuyen la dureza, brillo y adherencia a la superficie.

Considerando el pH del recubrimiento a base de agua, se puede deducir su poca interferencia en la compatibilidad con las especies evaluadas, evitando reacciones inesperadas que afecten la fibra de la madera y desprendan el material.

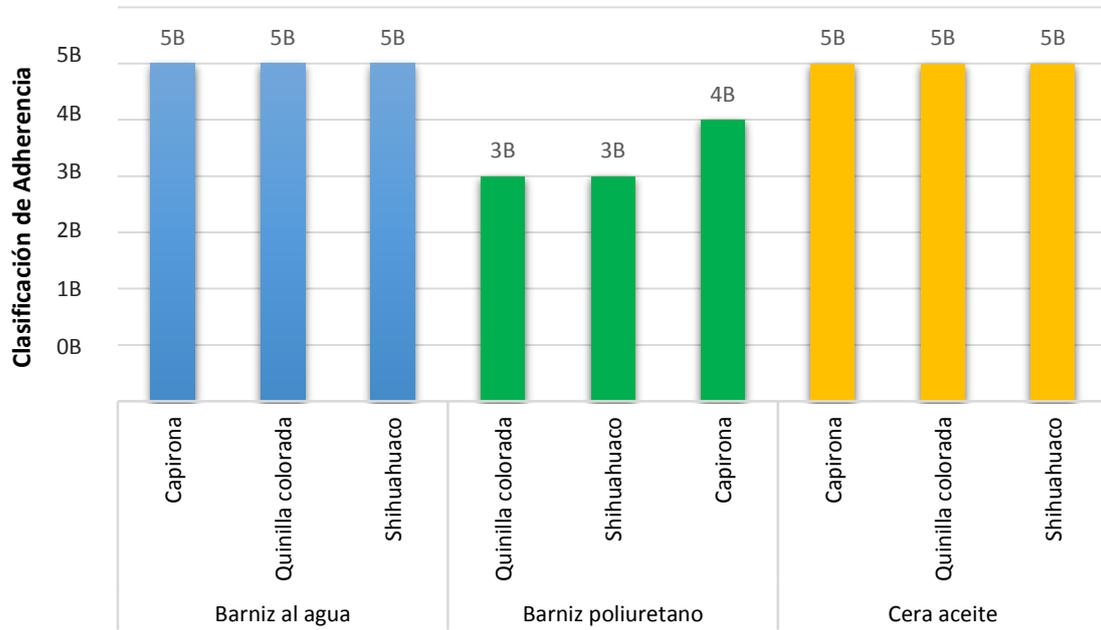


Figura 14: Clasificación de adherencia para tres materiales de recubrimiento sobre tres especies de madera.

8. RESISTENCIA A LA ABRASIÓN

8.1. PÉRDIDA DE PESO

La prueba de Kruskal-Wallis del Anexo 16 permite afirmar que los materiales de recubrimiento aplicados a las maderas de Capirona, Quinilla colorada y Shihuahuaco se diferencian en la resistencia a la abrasión mediante la pérdida de peso de la película formada, con un p-value de 0,000 y un estadístico mayor a la región crítica ($H= 29,96$ vs. $X^2_{tab} = 15, 507$). Al existir diferencias entre la pérdida de peso de la película de los tratamientos evaluados, significa que los factores especie y/o recubrimiento influyen en la resistencia a la abrasión.

Al comparar los niveles de cada factor como se indican en las Tablas 26 y 27, se observa que el factor especie no influye en la resistencia a la abrasión, contrario a lo que ocurre al comparar los sistemas de recubrimiento entre las especies pues la película formada sí afecta significativamente la resistencia a la abrasión.

Tabla 26: Prueba de Kruskal-Wallis para el factor Especie

<i>Especie/ Recubrimiento</i>	<i>Barniz poliuretano</i>	<i>Barniz al agua</i>	<i>Cera-aceite</i>
Capirona	H = 1,229	H = 4,267	H = 6,703
Quinilla colorada	GL =2	GL = 2	GL=2
Shihuahuaco	P = 0,541 (n.s.)	P = 0,118 (n.s.)	P = 0,35 (n.s.)

NOTA: n.s. = no significativo / ** = significativo.

Tabla 27: Prueba de Kruskal-Wallis para el factor Recubrimiento

<i>Recubrimiento/ Especie</i>	<i>Capirona</i>	<i>Quinilla colorada</i>	<i>Shihuahuaco</i>
Barniz poliuretano	H =8,674	H = 10,549	H = 8,085
Barniz al agua	GL=2	GL=2	GL=2
Cera-aceite	P = 0,013(**)	P = 0,005(**)	P = 0,018(**)

NOTA: n.s. = no significativo / ** = significativo.

El coeficiente de variabilidad mostrado en la Tabla 28 indica que los valores de la variable pérdida de peso presentaron mayor heterogeneidad; sin embargo, el tener valores muy altos no necesariamente implica dispersión de datos. Asimismo, no existe diferencia significativa para las especies al aplicar cera aceite para un promedio de 311 ciclos de desgaste, al igual que al comparar barniz al agua entre las especies Quinilla colorada y Shihuahuaco; sin embargo, ocurre lo contrario al compararla con Capirona para un promedio de 9250 ciclos. Por otro lado, el barniz poliuretano presenta la mayor pérdida de peso; es decir, el mayor desgaste de material de recubrimiento hasta llegar al sustrato con un promedio de 3034 ciclos.

Tabla 28: Parámetros estadísticos para la pérdida de peso de tres materiales de recubrimiento sobre tres especies de madera

<i>Especie</i>	<i>Recubrimiento</i>	<i>Media (mg)</i>	<i>Desviación estándar</i>	<i>Coefficiente de variabilidad</i>	<i>Número de ciclos promedio</i>
Capirona	Barniz poliuretano	284,20	85,76	30,18	2450
	Barniz al agua	308,00	115,30	37,44	11333
	Cera-aceite	39,80	6,26	15,73	235
Quinilla colorada	Barniz poliuretano	325,00	59,17	18,21	3202
	Barniz al agua	215,00	18,19	8,46	7833
	Cera-aceite	41,00	8,03	19,59	132
Shihuahuaco	Barniz poliuretano	305,40	55,67	18,23	3450
	Barniz al agua	210,00	26,96	12,84	8583
	Cera-aceite	69,67	7,37	10,58	566

En la prueba de comparaciones múltiples mostradas en la Tabla 29 se observa que no hay diferencias significativas al comparar Capirona barniz al agua entre barniz poliuretano para todas las especies, ocurre de manera similar para los materiales de recubrimiento barniz al agua y cera-aceite en Shihuahuaco.

Tabla 29: Comparaciones múltiples para la pérdida de peso de tres materiales de recubrimiento sobre tres especies de madera

<i>Comparaciones</i>	<i>Significancia</i>	<i>Comparaciones</i>	<i>Significancia</i>
CABP / CABA	No significativo	CACE / SHBP	Significativo
CABP / CACE	Significativo	CACE / SHBA	Significativo
CABP / QCBP	No significativo	CACE / SHCE	No significativo
CABP / QCBA	Significativo	QCBP / QCBA	Significativo
CABP / QCCE	Significativo	QCBP / QCCE	Significativo
CABP / SHBP	No significativo	QCBP / SHBP	No significativo
CABP / SHBA	Significativo	QCBP / SHBA	Significativo
CABP / SHCE	Significativo	QCBP / SHCE	Significativo
CABA / CACE	Significativo	QCBA / QCCE	Significativo
CABA / QCBP	No significativo	QCBA / SHBP	Significativo
CABA / QCBA	Significativo	QCBA / SHBA	No significativo
CABA / QCCE	Significativo	QCBA / SHCE	No significativo
CABA / SHBP	No significativo	QCCE / SHBP	Significativo
CABA / SHBA	Significativo	QCCE / SHBA	Significativo
CABA / SHCE	Significativo	QCCE / SHCE	No significativo.
CACE / QCBP	Significativo	SHBP / SHBA	Significativo
CACE / QCBA	Significativo	SHBP / SHCE	Significativo
CACE / QCCE	No significativo	SHBA / SHCE	No significativo

Teniendo en cuenta que el recubrimiento con mayor resistencia a la abrasión es la que presenta menor pérdida de peso, la cera-aceite obtuvo los menores valores; no obstante, el espesor y su propia característica hacen más sencilla su remoción. De manera diferente sucede con el

barniz al agua, que tomó más tiempo y número de revoluciones para estimar el desgaste final. Además, Živković *et al.* (2011) consideran que una adecuada resistencia al desgaste para un poliuretano al agua y un poliuretano bicomponente al solvente, se logra con 5400 ciclos y 3600 ciclos, respectivamente.

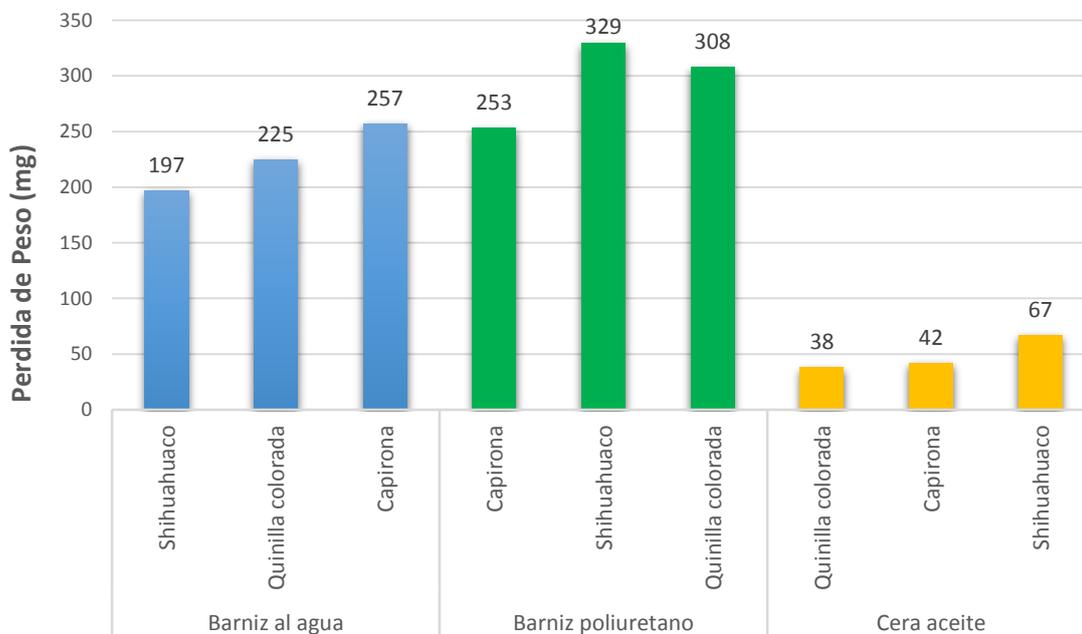


Figura 15: Pérdida de peso para tres materiales de recubrimiento sobre tres especies de madera.

En la Figura 15 se observan diferencias en la pérdida de peso de la película formada por los materiales de recubrimiento destacando por su mayor pérdida de peso el barniz poliuretano, seguido por el barniz al agua y la cera-aceite con valores escalonados pero no significativos.

Para Jalic y Paliija (2012) la pérdida de peso de un poliuretano bicomponente es proporcional al número de revoluciones de desgaste y se considera de alta resistencia a la abrasión con un valor de 730 mg después de 700 ciclos; dato que supera los resultados obtenidos, concluyendo que el material utilizado en el ensayo es mucho más eficiente por permanecerse sobre el sustrato, de la misma manera ocurre con el barniz al agua.

El barniz poliuretano que mostró mayor pérdida de peso coincide con su menor adherencia que se corrobora con lo sostenido por Keskin y Tekin (2011) de que el factor más importante para la resistencia al desgaste es la fuerza de unión entre las capas de barniz al sustrato (adhesión) y la fuerza interna entre las moléculas del barniz (cohesión); es decir, adherencia. Por último declara que el número de capas no proporciona una relación directa con la resistencia a la abrasión sino que depende del tipo de material de recubrimiento.

8.2. ÍNDICE DE DESGASTE

La prueba de Kruskal-Wallis del Anexo 17, permite afirmar que los materiales de recubrimiento aplicados a las maderas de Capirona, Quinilla colorada y Shihuahuaco se diferencian en la resistencia a la abrasión mediante el índice de desgaste de la película formada, con un p-value de 0,000 y un estadístico mayor a la región crítica ($H = 32,74$ vs. $X^2_{tab} = 15, 507$). Al existir diferencias entre la resistencia a la abrasión para los tratamientos, significa que los factores especie y/o recubrimiento influyen en el índice de desgaste.

Al comparar los niveles de cada factor como se indica en las Tablas 30 y 31, se observa que el factor especie influye en el índice de desgaste en barniz poliuretano y cera-aceite; mientras que no existen diferencias significativas para las especies al aplicar barniz al agua. En cuanto a los sistemas de recubrimiento, el material afecta significativamente la resistencia a la abrasión determinada con el Índice de desgaste.

Tabla 30: Prueba de Kruskal-Wallis para el factor Especie

<i>Especie/ Recubrimiento</i>	<i>Barniz poliuretano</i>	<i>Barniz al agua</i>	<i>Cera-aceite</i>
Capirona	H = 9,38	H = 1,867	H = 9,29
Quinilla colorada	GL = 2	GL = 2	GL = 2
Shihuahuaco	P = 0,009 (**)	P = 0,393(n.s)	P = 0,010 (**)

NOTA: n.s. = no significativo / ** = significativo.

Tabla 31: Prueba de Kruskal-Wallis para el factor Recubrimiento

<i>Recubrimiento/ Especie</i>	<i>Capirona</i>	<i>Quinilla colorada</i>	<i>Shihuahuaco</i>
Barniz poliuretano	H = 9,34	H = 10,549	H = 7,48
Barniz al agua	GL = 2	GL = 2	GL = 2
Cera-aceite	P = 0,009 (**)	P = 0,005(**)	P = 0,024(**)

NOTA: n.s. = no significativo / ** = significativo.

La Tabla 32, indica un menor coeficiente de variabilidad para todos los materiales de recubrimiento aplicados en Quinilla colorada; es decir, los valores de la variable se mantienen con cierta homogeneidad. El índice de desgaste promedio para el barniz poliuretano es de 101,88 mg., para el barniz al agua 26,18 mg. y para la cera-aceite 207,02 mg. lo que indica que para cada mil ciclos, el menor desgaste es para el barniz al agua.

Tabla 32: Parámetros estadísticos para el índice de desgaste de tres materiales de recubrimiento sobre tres especies de madera

<i>Especie</i>	<i>Recubrimiento</i>	<i>Media (mg)</i>	<i>Desviación estándar</i>	<i>Coefficiente de variabilidad</i>
Capirona	Barniz poliuretano	114,40	17,10	14,95
	Barniz al agua	26,61	4,43	16,65
	Cera-aceite	179,34	53,76	29,98
Quinilla colorada	Barniz poliuretano	102,82	10,27	9,98
	Barniz al agua	27,44	2,12	7,73
	Cera-aceite	312,08	34,73	11,13
Shihuahuaco	Barniz poliuretano	88,42	7,00	7,92
	Barniz al agua	24,50	3,11	12,69
	Cera-aceite	129,64	38,04	29,34

La Tabla 33, ilustra que el índice de desgaste es similar para la Capirona y Quinilla colorada al aplicar barniz poliuretano. Por otro lado, hay diferencia significativa para señalar que para las especies recubiertas con cera-aceite, el índice de desgaste difiere entre cada una de ellas. Detalla que no existe diferencia significativa entre las especies Quinilla colorada y Capirona al aplicar barniz poliuretano, lo mismo ocurre al compararlas con Shihuahuaco cera –aceite.

Tabla 33: Comparaciones múltiples para el índice de desgaste de tres materiales de recubrimiento sobre tres especies de madera

<i>Comparaciones</i>	<i>Significancia</i>	<i>Comparaciones</i>	<i>Significancia</i>
CABP / CABA	Significativo	CACE / SHBP	Significativo
CABP / CACE	Significativo	CACE / SHBA	Significativo
CABP / QCBP	No significativo	CACE / SHCE	Significativo
CABP / QCBA	Significativo	QCBP / QCBA	Significativo
CABP / QCCE	Significativo	QCBP / QCCE	Significativo
CABP / SHBP	Significativo	QCBP / SHBP	Significativo
CABP / SHBA	Significativo	QCBP / SHBA	Significativo
CABP / SHCE	No significativo	QCBP / SHCE	No significativo
CABA / CACE	Significativo	QCBA / QCCE	Significativo
CABA / QCBP	Significativo	QCBA / SHBP	Significativo
CABA / QCBA	No significativo	QCBA / SHBA	No significativo
CABA / QCCE	Significativo	QCBA / SHCE	Significativo
CABA / SHBP	Significativo	QCCE / SHBP	Significativo
CABA / SHBA	No significativo	QCCE / SHBA	Significativo
CABA / SHCE	Significativo	QCCE / SHCE	Significativo
CACE / QCBP	Significativo	SHBP / SHBA	Significativo
CACE / QCBA	Significativo	SHBP / SHCE	Significativo
CACE / QCCE	Significativo	SHBA / SHCE	Significativo

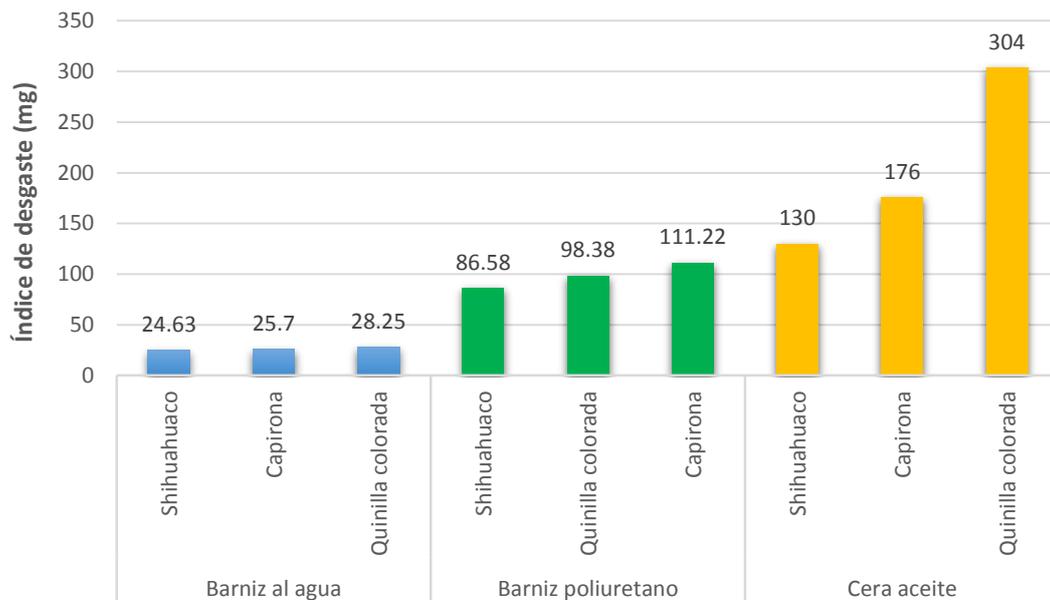


Figura 16: Índice de desgaste para tres materiales de recubrimiento sobre tres especies de madera

En la Figura 16, se observan que los valores del Índice de desgaste son menores para barniz al agua, seguidos del barniz poliuretano y finalmente cera-aceite; además la influencia de la especie se ve más marcada en esta última.

Para Utgof, *et al* (2012) el punto inicial de desgaste en un barniz estándar es de 700 ciclos. Swaczyna *et al* (2011) añaden que para ser considerado resistente a la abrasión, la pérdida de peso por cada 1000 ciclos debe alcanzar un máximo de 204 mg; por lo que el barniz poliuretano y al agua se incluyen dentro de la característica de resistencia, mientras que la cera aceite en promedio puede o no ser resistente dependiendo de la especie que, en este caso, no es alcanzado por la Quimilla colorada.

Al relacionar con los resultados del índice de desgaste, el barniz al agua es más resistente por perder menos material cada 1000 ciclos, afirmación que no concuerda con lo precisado por Keskin y Tekin (2011) al aplicarse a tres manos.

8.3. CICLOS DE DESGASTE POR MIL

La prueba de Kruskal-Wallis del Anexo 18, permite afirmar que los materiales de recubrimiento aplicados a las maderas de Capirona, Quinilla colorada y Shihuahuaco se diferencian en la resistencia a la abrasión mediante el número de ciclos de desgaste por mil, con un p-value de 0,000 y un estadístico mayor a la región crítica ($H= 34,47$ vs. $X^2_{tab} = 15, 507$). Al existir diferencias entre la resistencia a la abrasión para los tratamientos, significa que los factores especie y/o recubrimiento influyen en los Ciclos de desgaste por mil.

Al comparar los niveles de cada factor como se indica en las Tablas 34 y 35, se observa que el factor especie no influye en el barniz al agua; contrario a lo que ocurre con barniz poliuretano y cera-aceite. Por otro lado, el tipo de recubrimiento afecta en el Ciclos de desgaste por mil.

Tabla 34: Prueba de Kruskal-Wallis para el factor Especie.

<i>Especie/ Recubrimiento</i>	<i>Barniz poliuretano</i>	<i>Barniz al agua</i>	<i>Cera-aceite</i>
Capirona	H = 9,26	H = 5,60	H = 10,549
Quinilla colorada	GL = 2	GL = 2	GL = 2
Shihuahuaco	P = 0,010 (**)	P = 0,061 (n.s)	P = 0,005 (**)

NOTA: n.s. = no significativo / ** = significativo.

Tabla 35: Prueba de Kruskal-Wallis para el factor Recubrimiento

<i>Recubrimiento/ Especie</i>	<i>Capirona</i>	<i>Quinilla colorada</i>	<i>Shihuahuaco</i>
Barniz poliuretano	H = 10,549	H = 10,549	H = 8,73
Barniz al agua	GL = 2	GL = 2	GL = 2
Cera-aceite	P = 0,005 (**)	P = 0,005 (**)	P = 0,013(**)

NOTA: n.s. = no significativo / ** = significativo.

La Tabla 36, detalla que el número de ciclos de desgaste por cada mil de recubrimiento es menor para la cera-aceite con un promedio de 270 ciclos; seguido del barniz poliuretano con un promedio de 753 y para el barniz al agua 2617 ciclos. Esto explica que para un espesor de recubrimiento definido por 1 mil (0,001 in. = 25,4 μm) se requiere de un número de ciclos superior en el barniz al agua para su desgaste.

Tabla 36: Parámetros estadísticos para el ciclo de desgaste por mil de tres materiales de recubrimiento sobre tres especies de madera

<i>Especie</i>	<i>Recubrimiento</i>	<i>Media</i>	<i>Desviación estándar</i>	<i>Coefficiente de variabilidad</i>
Capirona	Barniz poliuretano	570,15	93,08	16,33
	Barniz al agua	2904,87	742,06	25,55
	Cera-aceite	195,73	43,99	22,48
Quinilla colorada	Barniz poliuretano	726,05	150,37	20,71
	Barniz al agua	2009,38	22,96	1,14
	Cera-aceite	117,41	20,21	17,21
Shihuahuaco	Barniz poliuretano	962,96	161,56	16,78
	Barniz al agua	2936,38	479,77	16,34
	Cera-aceite	496,63	106,03	21,35

Los resultados obtenidos mediante la prueba de comparaciones múltiples de la Tabla 37, indican que hay diferencias significativas para señalar que el ciclo de desgaste por mil difiere entre cada una de las especies recubiertas con cera-aceite y barniz poliuretano. Por otro lado, ocurre lo contrario al comparar Capirona barniz poliuretano con Shihuahuaco cera-aceite, al no presentar diferencias significativas en el ciclo de desgaste por mil.

Tabla 37: Comparaciones múltiples para el Ciclo de desgaste para los materiales de recubrimiento sobre tres especies de madera

<i>Comparaciones</i>	<i>Significancia</i>	<i>Comparaciones</i>	<i>Significancia</i>
CABP / CABA	Significativo	CACE / SHBP	Significativo
CABP / CACE	Significativo	CACE / SHBA	Significativo
CABP / QCBP	Significativo	CACE / SHCE	Significativo
CABP / QCBA	Significativo	QCBP / QCBA	Significativo
CABP / QCCE	Significativo	QCBP / QCCE	Significativo
CABP / SHBP	Significativo	QCBP / SHBP	Significativo
CABP / SHBA	Significativo	QCBP / SHBA	Significativo
CABP / SHCE	No significativo	QCBP / SHCE	Significativo
CABA / CACE	Significativo	QCBA / QCCE	Significativo
CABA / QCBP	Significativo	QCBA / SHBP	Significativo
CABA / QCBA	No significativo	QCBA / SHBA	Significativo
CABA / QCCE	Significativo	QCBA / SHCE	Significativo
CABA / SHBP	Significativo	QCCE / SHBP	Significativo
CABA / SHBA	No significativo	QCCE / SHBA	Significativo
CABA / SHCE	Significativo	QCCE / SHCE	Significativo
CACE / QCBP	Significativo	SHBP / SHBA	Significativo
CACE / QCBA	Significativo	CACE / QCBA	Significativo
CACE / QCCE	Significativo	CACE / QCCE	Significativo

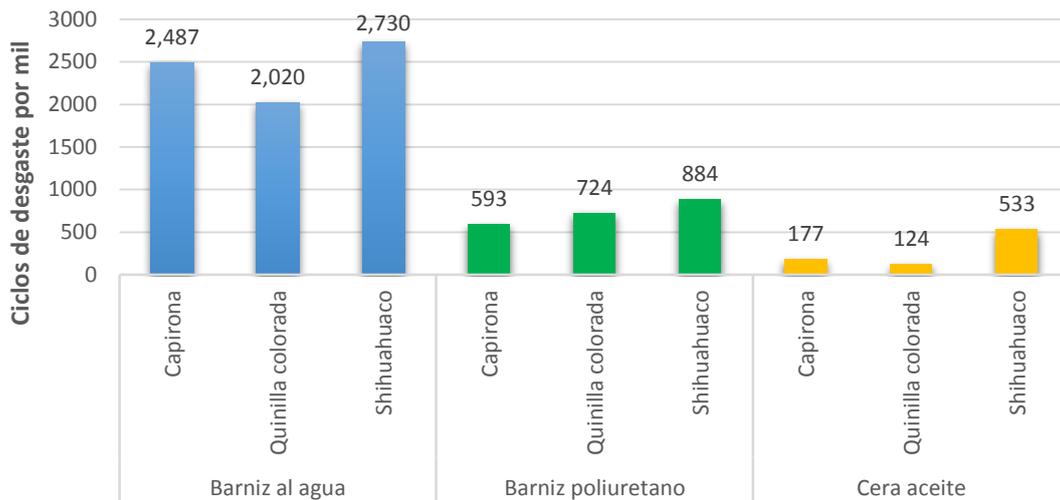


Figura 17: Ciclos de desgaste por mil para tres materiales de recubrimiento sobre tres especies de madera.

En la Figura 17, se observa que el número de ciclos de abrasión requeridos para desgastar el recubrimiento por cada mil es mayor en el barniz al agua con 2412 ciclos de desgaste por mil, mientras que el menor número de ciclos se encuentran en el recubrimiento de cera-aceite aplicado a Quimilla colorada. En el caso del barniz poliuretano con 734 ciclos de desgaste por mil se observa un cambio de tendencia en el comportamiento de las especies evaluadas.

Dados los resultados de Živković *et al.* (2011) sobre la resistencia a la abrasión en número de ciclos de desgaste se tiene que para un sistema poliuretano en base al agua con 1831 ciclos de desgaste por mil exhibe una resistencia a la abrasión adecuada para su uso en áreas públicas con tráfico de moderada intensidad, mientras que para un poliuretano bicomponente al solvente con 1088 ciclos de desgaste por mil es adecuado para áreas privadas de alto tránsito; sin embargo, este valor supera al obtenido en este estudio por lo que su aplicación debe realizarse con cierta cautela.

De acuerdo con la clasificación de resistencia al desgaste de la norma HRN EN 14354:2008, puede usarse para adecuar el uso de revestimientos de suelo de madera rechapados y ser “a priori” un método para establecer criterios de clasificación en otro tipo de suelos barnizados. En consecuencia, el barniz poliuretano alcanzó la clasificación WR1 con 3034 ciclos y puede ser utilizado en áreas privadas para una intensidad de tráfico pesado; mientras que el barniz al agua que alcanzó la clasificación WR3 con 9250 ciclos puede ser utilizado en áreas públicas para una intensidad de tráfico pesado como tiendas por departamento, oficinas públicas, escuelas, etc.

9. RESISTENCIA DE LA SUPERFICIE A LÍQUIDOS FRÍOS

La prueba de Kruskal-Wallis del Anexo 19, permite afirmar que los sistemas de acabado aplicados a las maderas de Capirona, Quinilla colorada y Shihuahuaco se diferencian en la resistencia de la superficie al agua destilada, con un p-value de 0,000 y un estadístico mayor a la región crítica ($H= 41,24$ y $X^2 \text{ tab} = 15,507$), asimismo el mayor rango promedio indica menor diferencia en la resistencia evaluada; es decir, una menor variación entre las repeticiones. Al existir diferencias entre la valoración numérica de la resistencia de la superficie al agua destilada para los tratamientos, significa que los factores especie y/o recubrimiento influyen en los resultados.

Al comparar los niveles de cada factor como se indica en las Tablas 38 y 39, se observa que la especie no influye en la resistencia de la superficie al agua cuando se trabaja con barniz poliuretano y barniz al agua. En cuanto a los sistemas de recubrimiento estos sí afectan la resistencia de la superficie al aplicarlos en las diferentes especies.

Tabla 38: Prueba de Kruskal-Wallis para el factor Especie

Especie/ Recubrimiento	Barniz poliuretano	Barniz al agua	Cera-aceite
Capirona	H = 0,00	H = 0,00	H = 11,73
Quinilla colorada	GL = 2	GL = 2	GL = 2
Shihuahuaco	P = 1,000 (n.s.)	P = 1,000 (n.s.)	P = 0,003 (**)

NOTA: n.s. = no significativo / ** = significativo.

Tabla 39: Prueba de Kruskal-Wallis para el factor Recubrimiento

Recubrimiento/ Especie	Capirona	Quinilla colorada	Shihuahuaco
Barniz poliuretano	H = 9,78	H = 15,61	H = 9,25
Barniz al agua	GL = 2	GL = 2	GL = 2
Cera-aceite	P = 0,008 (**)	P = 0,000 (**)	P = 0,010 (**)

NOTA: n.s. = no significativo / ** = significativo.

Las Tablas 40 y 41, muestran que el coeficiente de variabilidad en general fue bajo; es decir, existe mayor homogeneidad entre los valores de la variable. Para las especies que fueron recubiertas con barniz poliuretano y al agua no presentan diferencias significativas en la resistencia al agua destilada pues no presenta cambios en la superficie; es decir, el área de ensayo no se diferencia del área circundante adyacente. Ocurre de manera similar para la Capirona y Shihuahuaco a las que se le aplico cera-aceite, donde se observó un cambio ligero en la superficie como por ejemplo, decoloración y cambio de brillo pero sin producirse modificaciones en la estructura de la superficie como hinchazón, levantamiento de fibra,

agrietamiento, formación de ampollas, etc. Además, el área de ensayo se diferencia del área circundante adyacente únicamente cuando la fuente de luz se refleja en la superficie de ensayo hacia el ojo del observador.

Tabla 40: Parámetros estadísticos para la resistencia de la superficie al agua destilada de tres materiales de recubrimiento sobre tres especies de madera

<i>Especie</i>	<i>Recubrimiento</i>	<i>Mediana</i>	<i>Desviación estándar</i>	<i>Coefficiente de variabilidad</i>
Capirona	Barniz poliuretano	5	0,00	0,00
	Barniz al agua	5	0,00	0,00
	Cera-aceite	4	0,88	22,00
Quinilla colorada	Barniz poliuretano	5	0,00	0,00
	Barniz al agua	5	0,00	0,00
	Cera-aceite	2,5	0,54	21,60
Shihuahuaco	Barniz poliuretano	5	0,00	0,00
	Barniz al agua	5	0,00	0,00
	Cera-aceite	4	0,82	20,50

Tabla 41: Comparaciones múltiples para la resistencia de la superficie al agua destilada de tres materiales de recubrimiento sobre tres especies de madera

<i>Comparaciones</i>	<i>Significancia</i>	<i>Comparaciones</i>	<i>Significancia</i>
CABP / CABA	No significativo	CACE / SHBP	Significativo
CABP / CACE	Significativo	CACE / SHBA	Significativo
CABP / QCBP	No significativo	CACE / SHCE	No significativo
CABP / QCBA	No significativo	QCBP / QCBA	No significativo
CABP / QCCE	Significativo	QCBP / QCCE	Significativo
CABP / SHBP	No significativo	QCBP / SHBP	No significativo
CABP / SHBA	No significativo	QCBP / SHBA	No significativo
CABP / SHCE	Significativo	QCBP / SHCE	Significativo
CABA / CACE	Significativo	QCBA / QCCE	Significativo
CABA / QCBP	No significativo	QCBA / SHBP	No significativo
CABA / QCBA	No significativo	QCBA / SHBA	No significativo
CABA / QCCE	Significativo	QCBA / SHCE	Significativo
CABA / SHBP	No significativo	QCCE / SHBP	Significativo
CABA / SHBA	No significativo	QCCE / SHBA	Significativo
CABA / SHCE	Significativo	QCCE / SHCE	Significativo
CACE / QCBP	Significativo	SHBP / SHBA	No significativo
CACE / QCBA	Significativo	SHBP / SHCE	Significativo
CACE / QCCE	Significativo	SHBA / SHCE	Significativo

En cuanto a la Quinilla colorada al aplicarse cera-aceite, destacó un cambio moderado a significativo, pérdida de brillo, color, sensación de aspereza y levantamiento de fibra; se presume causada por la presencia de tilosis, pues según Siau (1984) y Kollmann (1959), la obturación producida por tilosis puede dificultar considerablemente el flujo y la impregnación a través de los vasos. Juacida citado por Salas (2005), refuerza que la disminución de la permeabilidad en duramen tiene su origen en deposiciones en los lúmenes celulares, obstrucción de las punteaduras y desarrollo de tilosis en los vasos, principalmente.

Los cambios ocurridos en diferente proporción para el recubrimiento de cera-aceite pudieron deberse a que el material no estaba suficientemente disperso, no generó una capa uniforme, inadecuada aplicación o el aceite penetró parcialmente en la madera permitiendo que el agua en contacto con ella sea absorbida rápidamente. Asimismo, Riquelme (2009) recalca que una de las características importante para lograr que el líquido impregnante ingrese en la madera es su permeabilidad y la condición en que se encuentren sus células, las cuales son las que permiten el paso de fluidos, es decir, que los vasos se encuentren sin sustancias depositadas y/o tilosis.

En el caso del barniz poliuretano y barniz al agua, por su característica de impregnabilidad que estos poseen y el sellado completo de los poros, no permitió el ingreso del agua y no generó cambios en la superficie.

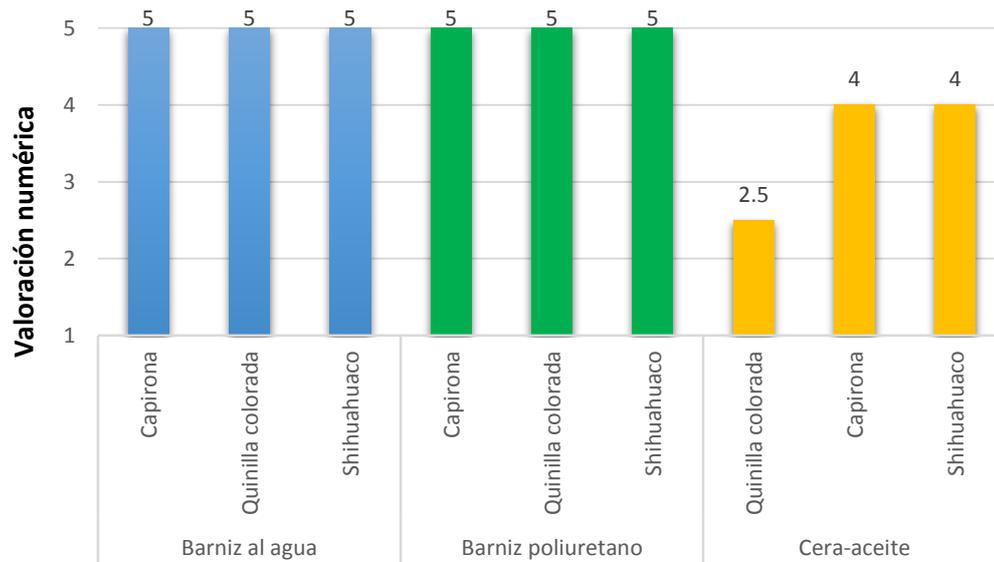


Figura 18: Valoración numérica de la resistencia de la superficie al agua destilada para tres materiales de recubrimiento sobre tres especies de madera.

En la Figura 18, se observan diferencias en la resistencia de la superficie al agua entre los tratamientos. Todos los tratamientos acabados en barniz al agua y barniz poliuretano alcanzaron valoraciones idénticas; mientras que entre las especies con el recubrimiento cera-aceite, especialmente en la Quinilla colorada se alcanzó una baja resistencia.

V. CONCLUSIONES

- 1) El rendimiento promedio de los materiales de recubrimiento, barniz poliuretano, barniz al agua y cera – aceite, con tres manos de aplicación alcanzaron 266,67 mL/m², 200 mL/m² y 22,22 mL/m² respectivamente.
- 2) El brillo y el espesor final del acabado son afectados por las características inherentes a cada especie estudiada.
- 3) El mayor grado de dureza de la película formada en las maderas evaluadas correspondió al barniz poliuretano.
- 4) El barniz al agua presenta una menor pérdida de peso, menor índice de desgaste y requiere de un mayor número de ciclos de desgaste para alcanzar el sustrato, lo cual le proporciona alta resistencia al tránsito.
- 5) El recubrimiento cera-aceite fue más susceptible a la acción del agua destilada, aunque la madera de Shihuahuaco demostró mejor comportamiento; en el caso de los recubrimientos barniz poliuretano y barniz al agua no fueron afectados.

VI. RECOMENDACIONES

- Evaluar el consumo de material en función de la rugosidad obtenida en superficies lijadas con diferentes granos.
- Realizar estudios de la influencia de la rugosidad del sustrato en la aplicación de los diferentes sistemas de recubrimientos para madera.
- Realizar pruebas complementarias para cumplir con las especificaciones técnicas de los pisos de madera, tales como resistencia al impacto, resistencia al calor húmedo y seco, patinamiento, intemperismo, corrosión y envejecimiento por luz.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acevedo, M; Kikata, Y. 1994. Atlas de maderas del Perú. Lima, PE. Universidad Nacional Agraria La Molina - Universidad de Nagoya Japón. 202 p.
- Adler, LR. 1995. Wood Finishing. Kentucky, US. Cooperative Extension Service. College of Agriculture - University of Kentucky. 5 p.
- AENOR (Asociación Española de Normalización y Certificación, ES). 2007. UNE-EN ISO 2808:2007. Determinación del espesor de película. ES. 45 p.
- _____. 2009. UNE-EN 12720:2009. Evaluación de la resistencia de la superficie a los líquidos fríos. ES. 18 p.
- Albin, R. 1975. Determinación del pH en diversas especies de los renovables de la provincia de Valdivia. Valdivia, CL. Bosque 1 (1): 3-5.
- Alonso Felipe, JV. 2013. Pinturas, barnices y afines: composición, formulación y caracterización. Madrid, ES. Universidad politécnica de Madrid. 200 p.
- Aróstegui, A. 1982. Recopilación y Análisis de Estudios Tecnológicos de Maderas Peruanas. Lima, PE. Proyecto PENUD/FAO/PER/81/002. 57 p. (Documento de Trabajo no. 2).
- ASTM (American Society for Testing and Materials, US). 2008. Designation: ASTM D523 – 08. Standard Test Method for Specular Gloss. Pensilvania, US, s.e. 5 p.
- _____. 2009. Designation: ASTM D3359 – 09. Standard Test Methods for Measuring Adhesion by Tape Test. Pensilvania, US, s.e. 8 p.
- _____. 2011. Designation: ASTM D3363 – 05 (Reapproved 2011). Standard Test Method for Film Hardness by Pencil Test. Pensilvania, US, s.e. 3 p.
- _____. 2014. Designation: ASTM D D4060 – 14. Standard Test Method for Abrasion Resistance of Organic Coating by the Taber Abraser. Pensilvania, US, s.e. 5 p.
- Bardage, SL; Bjurman, J. 1998. Adhesion of waterborne paints to wood. Journal of Coating Technology 70(878): 39-47.

- Bernal, M; Galicia, R; García, E; Vásquez, N. 2006. Pinturas a base de compuestos orgánicos. Toluca, MX. Instituto Tecnológico de Toluca. Consultado 14 jul. 2016. Disponible en: <http://www.monografias.com/trabajos37/pintura-organica/pintura-organica2.shtml>
- BYK-Gardner. 2015. Catálogo digital (en línea). Baviera, DE. Consultado 26 oct. 2015. Disponible en https://www.byk.com/fileadmin/byk/support/instruments/digital-catalog/BYK-Gardner_Catalogo_Digital_ES_26-10-15.pdf
- Bulian, F y Graystone, J. 2009. Wood Coating: Theory and Practice. Londres, UK. Elsevier. 320 p.
- Calvo C, J. 2014. Pinturas y barnices: tecnología básica (en línea). s.l. Diaz de Santos. Consultado 15 jun. 2016. Disponible en <https://books.google.com.pe/books?id=jmkWBQAAQBAJ&pg=PA385&lpg=PA385&dq=Calvo+J.+Pinturas+y+barnices:+tecnolog%C3%ADa+b%C3%A1sica&source=bl&ots=Q53Q8q2L-U&sig=QAaTMGhZiuDkhtUp5idTgu1XLFY&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwiest2ux93RAhUJKiYKHTV0AjEQ6AEIMjAE#v=onepage&q=Calvo%20J.%20Pinturas%20y%20barnices%3A%20tecnolog%C3%ADa%20b%C3%A1sica&f=false>
- Chavesta, M. 2005. Madera para pisos. Lima, PE. Universidad Nacional Agraria La Molina. 176 p.
- Confederación Nacional de la Madera. 1994. Compendio de Información Técnica de 32 especies forestales. Lima, PE. R. C. Servigraf S. R. L. tomo 1 y 2. 146 p.
- Corredor, JL. 2014. Los poliuretanos como sistema de recubrimiento (en línea). Consultado 20 ago. 2016. Disponible en <http://www.barnizadoencoladomueble.com/poluiuretanos-2/>
- Corzo, P; Soria, L; Orellana, S; Ccaipane, J. comp. 2011. Hombres y mujeres emprendedores en la Industria del mueble de madera en Lima Sur. Lima, PE. Centro de Estudios y Promoción del Desarrollo – DESCO. 137 p.
- Dias V, W. 2004. Química e Tecnología dos poliuretanos (en línea). 3 ed. Brasil. Vilar Consultoría. Consultado 12 ago. 2016. Disponible en <http://www.poliuretanos.com.br/>

- Fernández, I; Ángeles FK; Baño, V; Dieste, A. 2013. The effect of Wood species on the anti-skid resistance of coating. *Maderas. Ciencia y tecnología* 15(1): 65-72.
- Forest Products Laboratory. 2010. Wood handbook—Wood as an engineering material. Madison, U.S. General Technical Report FPL-GTR-190. Department of Agriculture, Forest Service. 508 p.
- Giudice, CA y Pereyra, AM. 2009. Tecnología de Pinturas y Recubrimientos: Componentes, Formulación, Manufactura y Control de Calidad. Buenos Aires, AR. Edutecne. 442 p.
- Goldschmidt, A; Streitberger, HJ. 2003. BASF Handbook: Basics of Coating Technology (en línea). Hannover, DE. Vincentz Network. Consultado 8 mayo 2016. Disponible en:
https://books.google.com.pe/books?id=1kk10OIkUNUC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q=thickness&f=false
- Green Seal. 2005. Wood finishes and stains. Washington, D.C., US. Choice green report. 8 p.
- Hernández, RE; Cool, J. 2008. Evaluation of three surfacing methods on paper birch wood in relation to water- and solvent-borne coating performance. *Wood Fiber Sci* 40 (3): 459-469.
- HRN (Hrvatski Zavod Za Norme, HR). 2008. Designation: EN 14354:2008. Wood-based panels – Wood veneer floor covering. Zagreb, HR. 35 p.
- ICONTEC (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, CO). 2015. NTC 1335. Pinturas al agua tipo Emulsión. Bogotá, Colombia. 15 p.
- INDECOPI (Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual, PE). 1998. Norma TAPPI 252 om-98. pH and electrical conductivity of hot water extracts of pulp, paper, and paperboard. Lima, PE. 6 p.
- Interempresas.net. 2007. El Test de lápices para películas, un método poco fiable (en línea). s.l. Consultado 18 oct. 2016. Disponible en <http://www.interempresas.net/Plastico/Articulos/17038-El-test-de-lapices-para-peliculas-un-metodo-poco-fiable.html>

- Irlé, M. 2012. pH and Why you need to know it. Wood Based Panels International (en línea). s.l. Consultado 09 ago. 2015. Disponible en <http://www.wbpionline.com/features/ph-and-why-you-need-to-know-it/>
- Jaic, M; Palija, T; Djordjevic, M. 2014. The impact of surface preparation of wood on the adhesion of certain types of coatings. *Zaštita Materijala (Materials Protection) Journal* 55: 163-169.
- Jaic, M; Palija, T. 2012. The impact of the top coating on the mechanical properties of lacquered wood surfaces. *Bulletin of the Faculty of Forestry* 106: 87-100.
- Keskin, H; Tekin, A. 2011. Abrasion resistances of cellulosic, synthetic, polyurethane, waterborne and acidhardening varnishes used woods. Elsevier. *Construction and Building Materials Journal*. 25: 638-643.
- Kollmann, F. 1959. Física de la madera. Teoría de la impregnación de maderas a presión. In *Tecnología de la madera y sus aplicaciones*. Madrid, ES. Ministerio de Agricultura, Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias y Servicio de la Madera. p. 535-541.
- Kúdela, J y Liptáková, E. 2006. Adhesion of coating materials to wood. *Journal of Adhesion Science and Technology* 20(8): 875-895.
- Landry, V y Blanchet, P. 2012. Surface Preparation of Wood for Application of Waterborne Coatings. *Forest Products Journal* 62(1): 39-45.
- Lima, M; Vasconcelos, RP de; Mansanares, V; Rocco, FA. 2014. Avaliação das Propriedades Química, Física e Mecânica de Painéis Aglomerados Produzidos com Resíduo de Madeira da Amazônia - Cumaru (*Dipteryx Odorata*) e Resina Poliuretana à Base de Óleo de Mamona. *Polímeros* 24(6): 726-732.
- Lopez, E; Cavazos, R; Delgado, M. 2003. Caracterización de superficies maquinadas por medio de parámetros de rugosidad. *Ingenierías VI* (18): 62-68.
- Magoss, E. 2008. General Regularities of Wood Surface Roughness. *Acta Silvatica et Lignaria Hungarica*. Hungría 4: 81-93.
- Martin, J. 1997. Acabado de la madera: duración al exterior y temperatura de transición vítrea. ES. AITIM. *Boletín de Información Técnica*. no.186: 60-64.

- Meijer, M de.; Velde, B van de; Militz, H. 2001. Rheological approach to the capillary penetration of coating into wood. *Journal of Coating Technology* 73(914): 39-50.
- 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.
- Moura, LF de y Hernández, R. 2006. Evaluation of varnish coating performance for three surfacing methods on sugar maple wood. *Forest Products Journal* 56(11-12): 130-136.
- Nadal, ME, Early, EA, Thompson, E. 2006. Specular gloss. National Institute of Standards and Technology. Maryland, US. Technology Administration, Department of Commerce. NIST special publication SP250-70. 72 p.
- Navarro, T. 2007. Efecto del lijado sobre madera de *Pinus radiata* D. Don en los niveles de consumo de barnices. Tesis Ing. en Maderas. Valdivia, CL. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Austral de Chile. 82 p.
- Nicks, P. 1990. Utilización de aceites vegetales en la fabricación de pinturas. CO. *Palmas* 11(3): 21-23.
- Perma-chink systems, inc. 2014. Technical Tip. Effects of pH on Bare Wood Surfaces (en línea). s.l. Consultado 09 ago. 2015. Disponible en <http://www.permachink.com/images/stories/tech-tips/Effects%20of%20pH-14.pdf>
- Poletto, M; Zattera, A; Santana, R. 2012. Structural Differences Between Wood Species: Evidence from Chemical Composition, FTIR Spectroscopy, and Thermogravimetric Analysis. *Journal of Applied Polymer Science* 126: E336-E343.
- Poletto, M; Ornaghi, H; Zattera, A. 2014. Native Cellulose: Structure, Characterization and Thermal Properties. *Materials* 7: 6105-6119.
- PRODUCE (Ministerio de la Producción, PE). 2016. Se agilizan préstamos por S/ 500 millones para financiamiento del sector forestal (en línea). Lima, PE. Consultado 07 jun. 2016. Disponible en <http://www.produce.gob.pe/index.php/prensa/noticias-del-sector/4231-se-agilizan-prestamos-por-s-500-millones-para-financiamiento-del-sector-forestal>

- Reynel, C; Pennington, R; Pennington, T; Flores, C; Daza, A. 2003. Árboles útiles de la amazonia peruana y sus usos, un manual con apuntes de identificación, ecología y propagación de las especies. Lima, PE. Herbario de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Nacional Agraria-La Molina. Darwin Initiative Project; ICRAF. 509 p.
- Riquelme, R. 2009. Impregnabilidad en madera de *Acacia melanoxylon*. Tesis Ing. en Maderas. Valdivia, CL. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Austral de Chile. 83 p.
- Rivera, L; Peñuela-Mora, M; Jiménez, E; Vargas, M. 2013. Ecología y silvicultura de especies útiles amazónicas: Abarco (*Cariniana micrantha* Ducke), Quinilla (*Manilkara bidentata* (A. DC.) A. Chev.) y Violeta (*Peltogyne paniculata* Benth.). Amazonas, CO. Instituto Amazónico de Investigaciones (IMANI) - Universidad Nacional de Colombia. 180 p.
- Rijckaert, V; Stevens, M; Van Acker, J; Meijer, M de; Militz, H. 2001. Quantitative assessment of the penetration of water-borne and solvent-borne wood coatings in Scots pine sapwood. Springer-Verlag. Holz als Roh- und Werkstoff. 59: 278-287.
- Rowell, R. 2012. Handbook of Wood Chemistry and Wood Composites (en línea). 2 ed. Londres, UK. Consultado 10 ago. 2015. Disponible en https://books.google.com.pe/books?id=QMn6rsl_PPgC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false
- Rueda, A. 1987. Principales factores que afectan a la durabilidad de los barnices y pinturas aplicados sobre madera. Madrid, ES. AITIM. Boletín de Información Técnica. no. 127. 6 p.
- Salas, V. 2005. Impregnabilidad de la madera de *Eucalyptus nitens*. Tesis Ing. en Maderas. Valdivia, CL. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Austral de Chile. 66 p.
- Salehi, A. 2012. Chemical interactions between fatty acids and wood components during oxidation processes. Estocolmo, SE. Doctoral Thesis. Chemical Science and Engineering – KTH. 75 p.
- Santana, Marcos A. y Arakaki, E. 2007. Chemical of 36 Brazilian Amazon forest Wood species. Holzforschung. 61: 469-477.
- Siau, J. 1984. Transport proceses in wood. Springer-Verlag, Heidelberg, Berlin, DE. 245 p

- Sibille, A. 2006. Capirona *Calycophyllum spruceanum*. Guía de Procesamiento Industrial, Fabricación de muebles con maderas poco conocidas-LKS. Lima, PE. WWF, USAID, PROMPEX Perú. 17 p.
- Simmons, M. 2000. The Pencil Hardness Test. Woodwork. s.l. p. 76.
- Sonmez, A; Budakci, M; Bayram, M. 2009. Effect of wood moisture content on adhesion of varnish coatings. Scientific Research and Essay. 4(12): 1432-1437.
- Sotelo, C; Vidaurre, H; Weber, JC. 2001. Variation in stem-growth and branch-wood traits among provenances of *Calycophyllum spruceanum* Benth. from the Peruvian Amazon. New Forests. 26: 1-16 p.
- Stevenson, Phil. 2003. Finish coatings system adhesion and test methods. Wood Digest's Finishing Magazine. P. 18-20.
- Swaczyna, I; Kedzierski, A; Tomusiak, A; Cichy, A; Rozanska, A; Policinska-Serwa A.2011. Hardness and wear resistance tests of the wood species most frequently used in flooring panels. Ann. WULS-SGGW. Forestry and Wood Technology. no. 76: 82-87.
- Tamarit, JC; Rosa Borja, A de la; Flores, R; Corona, A. 2002. Vida útil de dos barnices para exteriores mediante el intemperismo artificial en madera de Aile, Pino y Encino. Revista Chapingo. Serie de Ciencias Forestales y del Ambiente 8(1): 83-90.
- Utgof, S; Ignatovich, L; Romanova, A. 2012. Application of nanoadditives for wear resistance improvement of parquet protective and decorative coatings. Proceedings of BSTU Journal. p. 100-102.
- Vignote, S.; Martinez, I. 2006. Tecnología de la Madera. 3 ed. Madrid, ES. Mundi-Prensa. 678 p.
- Woodworker's Journal. 2014. Understanding Oil and Wax finishes. s.l. Consultado 23 mayo 2015. Disponible en <http://www.woodworkersjournal.com/understanding-oil-wax-finishes/>
- Yáñez, M. 2006. Efecto de la rugosidad en madera de *Pinus radiata* D. Don en las propiedades finales de un barniz nitrocelulósico. Tesis Ing. en Maderas. Valdivia, CL. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Austral de Chile. 29 p.

Živković, V; Turkulin, H; Valdec, N. 2011. Surface of finished wood flooring: Characteristics and testing. Zgreb, HR. Wood is good - EU preaccession challenges of the sector, Zagreb University. 16 p.

VIII. ANEXOS

ANEXO 1

CONSTANCIA



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 la Bach. Rocío EMMA TAPIA ALVA, ex alumna de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Nacional Agraria la Molina, empleadas en su trabajo de tesis titulado: "Evaluación de tres sistemas de acabado para pisos en maderas de Shihuahuaco (*Dipteryx odorata*), Capirona (*Calycophyllum spruceanum*) y Quinilla colorada (*Manilkara bidentata*)", corresponden a:

<u>Nombre Común</u>	<u>Nombre Científico</u>	<u>Familia</u>
Capirona	<i>Calycophyllum spruceanum</i> (Benth) Hook	Rubiaceae
Quinilla colorada	<i>Manilkara bidentata</i> (A.DC.) A. Chev.	Sapotaceae
Shihuahuaco	<i>Dipteryx odorata</i> (Aublet) Willdenow	Fabaceae

Atentamente,

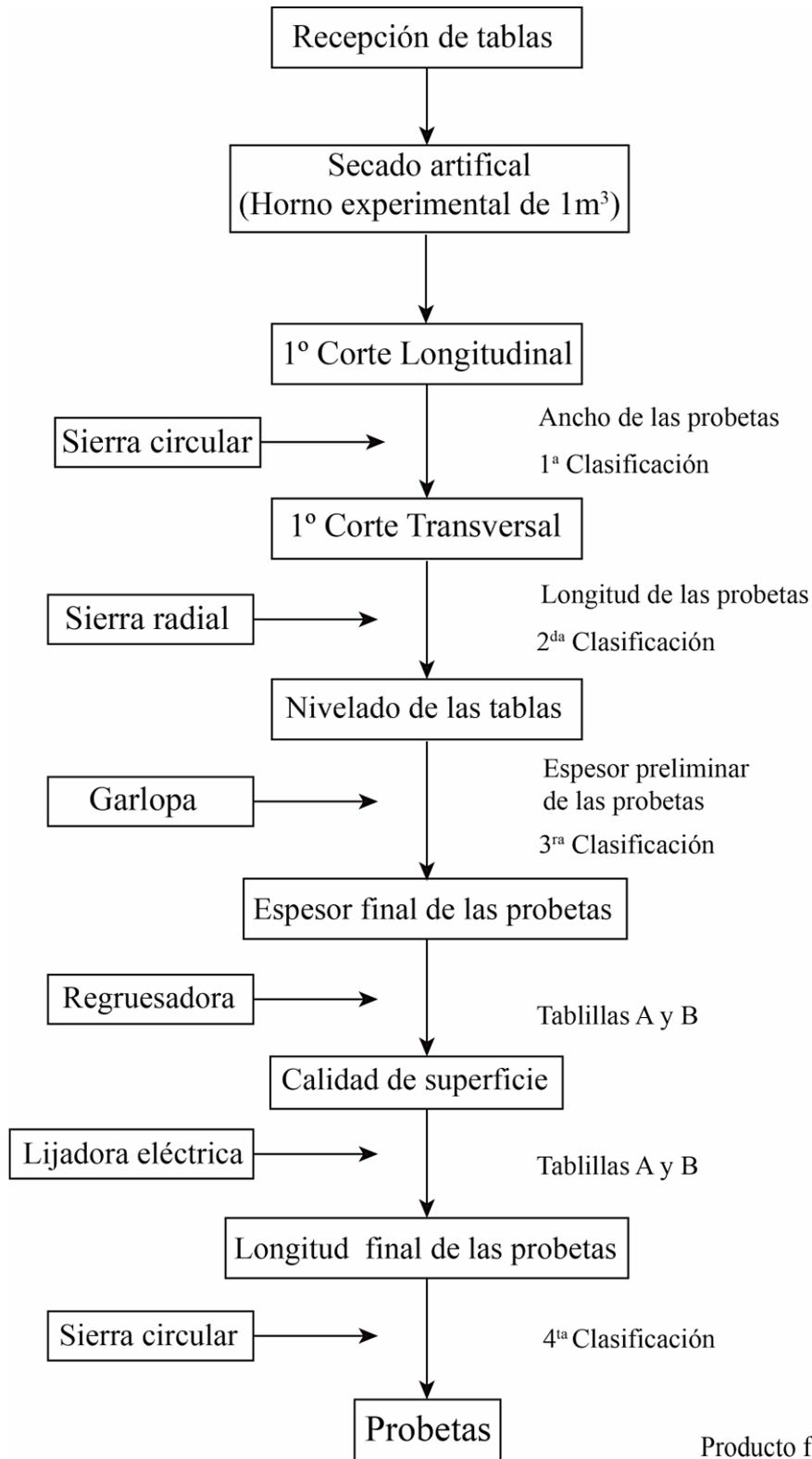
Ing. Manuel Chavesta Custodio
Lab. Anatomía de la Madera



La Molina, 21 de Diciembre de 2015

ANEXO 2

FABRICACIÓN DE PROBETAS



Producto final

Tablillas : 19x100x300mm (A)
6x100x100mm (B)



Secado



Listoneado



Despuntado



Garlopeado



Cepillado



Probetas



Escuadrado



Lijado

ANEXO 3

FICHA TÉCNICA BARNIZ POLIURETANO

	FICHA TECNICA	VERSION: 0
	DD BARNIZ/DD ENDURECEDOR código: 061201001/061201003	VIGENTE DESDE 06/08/2012

DESCRIPCION	DD BARNIZ es un producto bi-componente formulado con materiales cuidadosamente seleccionados para ofrecer al mercado un producto transparente y brillante, que aplicado sobre maderas duras o blandas, refuercen su apariencia natural, resista la humedad y el contacto con químicos frecuentes del hogar, no se descascare y resista la abrasión propia del tránsito peatonal.
--------------------	---

USOS	DD BARNIZ es Ideal para la protección de pisos machihembrados o de parquet, parquetones, listones de madera al natural o teñidas, escaleras, puertas y muebles en interiores. No se recomienda para pisos vinílicos y cerámicos. Se puede usar como fondo para acabados con Barniz poliéster y Barnices poliuretanos mates y satinados.
-------------	--

PROPIEDADES FISICO-QUIMICAS	ESPECIFICACIÓN	METODO
SÓLIDOS , %	52 - 55	ASTM D1644
DENSIDAD; (g/ml) @ 25 °C	1.030 – 1.080	ASTM D1475
VISCOSIDAD DE ENTREGA; segundos, Copa Ford N° 4, 25°C	75 - 90	ASTM D1200
ENDURECEDOR	DD ENDURECEDOR	
DILUYENTE	DD DISOLVENTE	
RELACION DE MEZCLA	Barniz/Endurecedor/Diluyente 1 vol. / 1 vol. / 1 vol.	
No DE MANOS	3	
SECADO TACTO; minutos	60 – 120	ASTM D1640
SECADO TOTAL; días	7	ASTM D1640
REPINTADO; horas	12 mínimo	
RENDIMIENTO TEÓRICO; m ² /juego, @ 3 manos	45	
VIDA UTIL EN ALMACENAJE	DD Barniz: Hasta 12 meses DD Endurecedor: Hasta 6 meses En envase bien cerrado y expuesto a temperaturas entre 15° - 25°C.	

	FICHA TECNICA	VERSION: 0
	DD DISOLVENTE NF código: 061401008	VIGENTE DESDE: 30/10/2013

DESCRIPCION	DD DISOLVENTE NF es un producto diseñado con solventes orgánicos activos; provenientes de la industria petroquímica, que contiene menos de 20% de insumos fiscalizados. Permite diluir adecuadamente al DD Barniz, facilitando su aplicación y excelente nivelación.
--------------------	---

USOS	DD DISOLVENTE NF se recomienda como diluyente del sistema poliuretano DD BARNIZ/DD ENDURECEDOR. También puede usarse en la dilución de fondos, bases y acabados de tipo poliuretano; así como, en la limpieza de instrumentos y equipos utilizados durante las tareas de aplicación.
-------------	---

PROPIEDADES FISICO-QUIMICAS	ESPECIFICACIÓN	METODO
DENSIDAD; (g/ml) @ 25 °C	0.848 – 0.901	ASTM D1475
VIDA UTIL EN ALMACENAJE	Hasta 12 meses, en envase bien cerrado y expuesto a temperaturas entre 15º - 25ºC.	

RECOMENDACIONES DE SEGURIDAD	<ul style="list-style-type: none"> • Es inflamable. • Evite aspirar los vapores utilizando respiradores y/o trabajando en áreas muy ventiladas. • Mantenga el envase alejado del alcance de los niños. • Evite el contacto con la piel y ojos. • Después de usar lávese con agua y jabón.
PRESENTACIONES	Envase de hojalata de 3,785 y 0,946 litros.
IDENTIFICACION	Etiqueta con nombre del producto, número de lote de fabricación, fecha de fabricación y contenido neto.

ANEXO 4

FICHA TÉCNICA DEL BARNIZ AL AGUA- ECOTHANE

	FICHA TECNICA	VERSION: 1
	BARNIZ ECOTHANE 061203001 SEMIBRILLANTE 061203002 BRILLANTE 061203003 MATE	VIGENTE DESDE: 01 08 2014

DESCRIPCION	BARNIZ ECOTHANE es un poliuretano acuoso diseñado cuidadosamente, para proteger y realzar la belleza de la madera. Es inodoro, fácil de aplicar y seca rápido. Su película translúcida es autonivelante y no modifica el color natural de la madera, es resistente al rayado y al contacto con químicos frecuentes del hogar: aceites, grasas, licores, humedad. Está disponible en acabado brillante, semibrillante y mate.
--------------------	---

USOS	BARNIZ ECOTHANE se recomienda en la protección de proyectos en maderas naturales o teñidas en interiores: gabinetes, puertas, molduras. Es ideal para la protección de pisos machihembrados, parquet, zócalos y escaleras. No se recomienda para pisos vinílicos y cerámicos.
-------------	--

PROPIEDADES FISICO-QUIMICAS	ESPECIFICACIÓN	METODO
SÓLIDOS , %	30 – 33	ASTM D1644
DENSIDAD; (g/ml) @ 25 °C	1.020 – 1.070	ASTM D1475
VISCOSIDAD DE ENTREGA; Copa Ford 4, seg, 25°C	20 – 30	ASTM D1200
SECADO TACTO; minutos	45 – 60	ASTM D1640
SECADO TOTAL; días	7	ASTM D1640
REPINTADO; horas	Mínimo 3	
RENDIMIENTO TEÓRICO; m ² /galón, @ 1.0 mil	40	
VOC; g/l	< 50	
VIDA UTIL EN ALMACENAJE	Hasta 12 meses, en envase bien cerrado y expuesto a temperaturas entre 15º - 25ºC.	

PAUTAS DE USO	<ul style="list-style-type: none"> ◆ La madera debe estar seca y libre de grasa, cera, polvo o cualquier tipo de suciedad. ◆ La superficie se lijara en el sentido de la veta de la madera. Iniciar con lija N° 100, continuar con lija N° 150 y terminar el trabajo con lija N° 220 o una más fina. ◆ Los pisos de madera; además de estar libres de grasa, cera y polvo, deben estar pulidos adecuadamente, las zonas inaccesibles al equipo de pulido, se lijaran con lija N° 180. ◆ Eliminar el polvillo de la madera con un trapo humedecido con Bencina o una aspiradora. ◆ Se aplica fácilmente con brocha; se recomienda que la brocha sea de buena calidad (cerdas sintéticas). ◆ Homogenice suavemente el Barniz Ecothane antes y durante la aplicación. Aplique una capa homogénea de barniz, evitando la formación de burbujas y acumulaciones indeseadas. ◆ Para repintar, deje secar el barniz 3 horas mínimo o cuando se note la película endurecida, no debe estar pegajosa al tacto. ◆ Para películas con más de 16 horas de secado, se lijara la superficie con lija N° 220 antes de aplicar la capa siguiente. Elimine el polvillo de la madera y alrededores; con un trapo humedecido con bencina o una aspiradora, y aplique el barniz de manera similar a la primera capa. ◆ Deje curar el acabado durante 7 días. ◆ No aplicar producto si la temperatura ambiente está debajo de 4 °C, o por encima de 43 °C. La humedad relativa deber ser inferior a 90%.
----------------------	---

RECOMENDACIONES DE SEGURIDAD	<ul style="list-style-type: none"> • Aplique el producto en adecuada ventilación. • Mantenga el envase alejado del alcance de los niños. • Evite el contacto con la piel y ojos. • Después de usar lávese con agua y jabón.
-------------------------------------	---

PRESENTACIONES	Envase de 0,946 y 3,785 litros
-----------------------	--------------------------------

IDENTIFICACION	Etiqueta con nombre del producto, número de lote de fabricación, fecha de fabricación y contenido neto.
-----------------------	---

ANEXO 5

FICHA TÉCNICA DE LA CERA-ACEITE



PRODUCT INFORMATION | INTERIOR



POLYX®-OIL ORIGINAL

Specifically geared towards the needs of wooden flooring!



3011 Clear Gloss
3032 Clear Satin
3062 Clear Matt
3065 Clear Semi-Matt



PRODUCT DESCRIPTION

Clear, glossy to matt wood finish that uniquely combines the advantages of natural oils and waxes in one product.

Osmo Polyx®-Oil Original is resistant to dirt, water and abrasion and smoothens the surface.

In comparison to conventional finishes, the use of plant ingredients creates a more evenly coloured and more harmonious appearance.

Simple application – without primer or intermediate sanding – this saves time and money.

Suitable for wood; microporous surface allows the wood to breathe and reduces swelling and shrinkage. Resistant to wine, beer, cola, coffee, tea, fruit juice, milk and water according to DIN 68861-1A – no water spots.

When dry, finish is safe for humans, animals and plants and is suitable for children's toys as per EN 71.3 (European norm) and is saliva-resistant and sweatproof according to DIN 53160 (German industrial norm).

RECOMMENDED USE

Osmo Polyx®-Oil Original is ideal for protecting all wooden floors, such as solid wood and plankwood flooring, blockstrip, OSB and cork floors, as well as furniture.

INGREDIENTS

Based on natural plant oils and waxes (sunflower oil, soya oil, thistle oil, carnauba wax and candelilla wax), paraffin, siccatives (drying agents) and water-repellent additives. Deodorized white spirit (benzene-free). This product fulfils EU regulations (2004/42/EC) according to the VOC content of max. 500 g/l (Cat. A/i (2010)).

Detailed declaration of ingredients available upon request.

TECHNICAL DATA

Specific gravity: 0.88-0.95 g/cm³

Viscosity: 95-240 mPas

Odour: faint/mild, after drying odourless

Flash point: >60°C acc. DIN EN ISO 2719

STORAGE

Up to 5 years and longer if can is kept dry and closed tightly. If thickened by frost, store for 24-36 hours at room temperature before use.

SURFACE PREPARATION

Wood surface must be clean, dry and frost-free (moisture content max. 18%).

Osmo Polyx®-Oil Original is ready to use, please do not thin. Stir well before use.

Clean old microporous stains thoroughly. Old paints and lacquers must be completely removed. As a general rule, wear a dust mask during sanding works. Fill small cracks, larger joints or holes in wood (with Osmo Wood Filler).

Sand wood surfaces carefully. Begin with coarse sandpaper – final sanding work for flooring P120-150, for furniture P180-240. Before oiling the surface, remove sanding dust with a broom or vacuum.

The finished surface is, among other things, influenced by the wood's natural characteristics. Therefore, a trial application is always required, especially for unfamiliar surfaces.

METHODS OF APPLICATION

Apply thinly to the clean and dry wood along the wood grain with Osmo Natural Bristle Brush, Osmo Micro-fibre Roller or Osmo Floor Brush 150 mm, and spread well.

Allow to dry for approx. 8-10 hours with good ventilation.

After drying, quickly apply a second coat also thinly. When renovating or recoating an already oiled surface, one coat applied to the clean and dry surface is usually sufficient.



CLEANING OF TOOLS

With Osmo Brush Cleaner (free of aromatic compounds).

DRYING TIME

Approx. 8-10 hours (normal climatic conditions, 23 °C/50 % rel. humidity). Lower temperatures and/or higher air humidity can increase the drying time. Allow for good ventilation while drying.

After 2-3 weeks, the surface is completely and thoroughly hardened.

COVERAGE

1 litre covers approx. 24 m² with one coat.

Product coverage depends significantly on the character of the wood. All information refers to smooth and planed/cut surfaces. Other surfaces may lead to reduced coverage.

NOTE

Oils enhance the natural tone of wood (permanent wet effect). Applying the product too generously and insufficient ventilation lead to delays in drying.

For dark and extractive-rich hardwoods (e.g. Wenge, Merbau, Jatoba etc.), we recommend using Osmo Wood Wax Finish Clear Extra Thin. A trial application is recommended.

For cork surfaces, due to their high absorbency please ensure that the wood finish is applied especially thinly. On cork, longer drying times are to be taken into consideration (at least 24 hours).

Caution: Apply max. one coat thinly to cabinet interiors and drawers with a cloth.

Wood surfaces treated with Polyx®-Oil are easy to maintain. Remove coarse dirt with a broom or a vacuum cleaner. To clean, add Osmo Wash and Care concentrate to mop water and clean the surface with a damp (not wet!) mop.

To refresh and clean intensively, use Osmo Liquid Wax Cleaner when necessary.

If a higher gloss level is desired, after thoroughly drying apply Osmo Liquid Wax Cleaner thinly and polish when dry.

CAUTION

Keep out of the reach of children. Do not get in eyes, on skin, or on clothing. Contains 2-butanonoxime. May produce an allergic reaction. If medical advice is needed, have product container or label at hand. Use only outdoors or in a well-ventilated area.

Warning: Wash out any used cloth impregnated with this product immediately after use or store in an airtight container (danger of self-ignition). The dried finish is classified as B2 (normal flammability) according to DIN 4102 regulations. Safety data sheet available on request.

DISPOSAL

Dispose of leftover product and packaging according to local official guidelines (waste code number 08 01 11). Only completely emptied cans can be recycled.

COLOUR TONES

3011 Clear Gloss
3032 Clear Satin
3062 Clear Matt
3065 Clear Semi-Matt

CAN SIZES

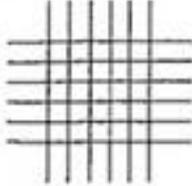
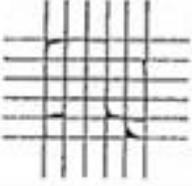
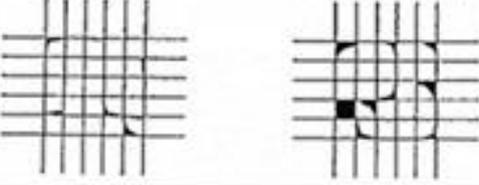
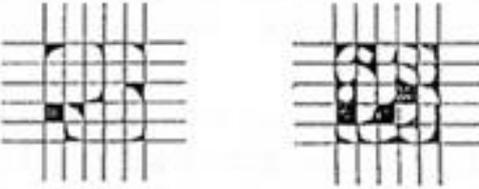
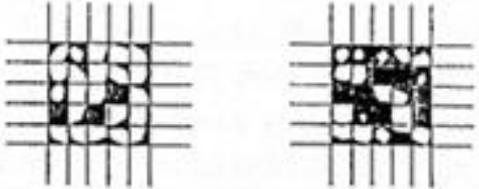
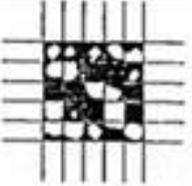
0.375 L; 0.75 L; 2.50 L; 10 L; 25 L

The above mentioned information is provided to the best of our knowledge however without any liability.

Version 06/15

ANEXO 6

CLASIFICACIÓN DE RESULTADOS DE LA PRUEBA DE ADHERENCIA

Classification	% of Area Removed	Surface of Cross-cut Area From Which Flaking has Occured for 6 Parrallel Cuts & Adhesion range by %
5B	0% None	
4B	Less than 5%	
3B	5 - 15%	
2B	15 - 35%	
1B	35 - 65%	
0B	Greater than 65%	

FUENTE: ASTM D3359-09

ANEXO 7

CÓDIGO DE VALORACIÓN NUMÉRICO DESCRIPTIVO

Valoración numérica	Descripción
5	Sin cambio El área de ensayo no se diferencia del área circundante adyacente.
4	Cambio ligero. El área de ensayo se diferencia del área circundante adyacente, únicamente cuando la fuente de luz se refleja en la superficie de ensayo hacia el ojo del observador, por ejemplo, decoloración, cambio de brillo y color. No se producen cambios en la estructura de la superficie, por ejemplo, hinchazón, levantamiento de fibra, agrietamiento, formación de ampollas.
3	Cambio moderado. El área de ensayo se diferencia del área circundante adyacente, de forma visible desde varios ángulos de observación; por ejemplo, decoloración, cambio de brillo y color. No se producen cambios en la estructura de la superficie, por ejemplo, hinchazón, levantamiento de fibra, agrietamiento, formación de ampollas.
2	Cambio significativo. El área de ensayo se diferencia claramente del área circundante adyacente, de forma visible desde cualquier ángulo de observación. Por ejemplo, decoloración, cambio de brillo y color, y/o ligeros cambios en la estructura de la superficie, por ejemplo, hinchazón, levantamiento de fibra, agrietamiento, formación de ampollas.
1	Cambio fuerte. La estructura de la superficie se ha modificado claramente, y/o decoloración, cambio de brillo y color, y/o material de la superficie se ha eliminado total o parcialmente, y/o el papel filtro se ha adherido a la superficie.

FUENTE: Norma UNE-EN 12720

ANEXO 8

RENDIMIENTO DE APLICACIÓN PARA RECUBRIMIENTO SUPERFICIAL CON BARNIZ POLIURETANO

TIPO DE RECUBRIMIENTO		RENDIMIENTO					
		Volumen (ml)	Volumen Total (ml)	Sobrante (ml)	Volumen utilizado (ml)	Área aplicada (m2)	Rendimiento (ml/m2)
1era mano	Barniz DD	400	1200	35	1165	4,5	258,89
	Enddurecedor DD	400					
	Disolvente DD	400					
2da mano	Barniz DD	460	1380	45	1335	4,5	296,67
	Enddurecedor DD	460					
	Disolvente DD	460					
3ra mano	Barniz DD	350	1100	0	1100	4,5	244,44
	Enddurecedor DD	350					
	Disolvente DD	400					

FUENTE: Elaboración propia

ANEXO 9

RENDIMIENTO DE APLICACIÓN PARA RECUBRIMIENTO SUPERFICIAL CON BARNIZ AL AGUA

TIPO DE RECUBRIMIENTO		RENDIMIENTO					
		Volumen (ml)	Volumen Total (ml)	Sobrante (ml)	Volumen utilizado (ml)	Área aplicada (m2)	Rendimiento (ml/m2)
1era mano	Barniz al agua	1000	1000	125	875	4,5	194,44
2da mano	Barniz al agua	1000	1000	275	725	4,5	161,11
3ra mano	Barniz al agua	1350	1350	250	1100	4,5	244,44

FUENTE: Elaboración propia

ANEXO 10

RENDIMIENTO DE APLICACIÓN PARA RECUBRIMIENTO SUPERFICIAL CON CERA-ACEITE

TIPO DE RECUBRIMIENTO		RENDIMIENTO					
		Volumen (ml)	Volumen Total (ml)	Sobrante (ml)	Volumen utilizado (ml)	Área aplicada (m2)	Rendimiento (ml/m2)
1era mano	Cera-aceite	100	100	0	100	4,5	22,22
2da mano	Cera-aceite	150	150	0	150	4,5	33,33
3ra mano	Cera-aceite	50	50	0	50	4,5	11,11

FUENTE: Elaboración propia

ANEXO 11

RESUMEN DE LA RUGOSIDAD PROMEDIO

CAPIRONA			QUINILLA COLORADA			SHIHUAHUACO					
Barniz poliuretano (μm)	Barniz al agua (μm)	Cera- aceite (μm)	Barniz poliuretano (μm)	Barniz al agua (μm)	Cera- aceite (μm)	Barniz poliuretano (μm)	Barniz al agua (μm)	Cera- aceite (μm)			
2,61	3,18	2,48	1,57	2,05	1,59	3,64	4,54	4,13			
1,26	2,63	2,05	1,48	2,24	1,35	3,82	3,80	3,02			
1,94	3,16	2,95	1,20	1,62	1,95	3,54	3,98	3,77			
3,94	4,12	2,91	1,35	1,40	2,49	3,41	5,35	4,47			
2,66	3,35	2,73	1,73	2,22	2,23	3,34	3,83	5,15			
3,21	2,70	2,18	1,84	1,68	2,00	4,96	4,65	2,56			
2,04	2,20	3,55	1,23	2,18	1,95	2,15	5,28	3,20			
2,22	1,83	3,45	4,08	2,63	1,27	5,75	3,32	3,93			
2,24	2,97	2,78	1,60	2,07	1,55	3,38	4,11	5,05			
2,75	3,19	2,05	2,57	3,23	1,90	3,49	2,20	4,21			
2,93	1,87	2,56	1,57	1,48	2,00	4,64	4,96	3,50			
2,59	2,55	2,56	4,33	2,38	1,56	2,90	2,89	4,42			
2,53	3,12	2,01	2,38	2,60	2,12	2,63	3,31	2,17			
3,58	1,97	2,09	2,27	1,42	2,97	3,09	3,87	4,50			
3,23	4,76	3,09	1,38	1,63	2,91	5,84	2,83	6,92			
2,26	2,40	2,59	2,71	1,29	2,64	4,82	3,07	2,69			
Prom.	2,62	2,88	2,63	Prom.	2,08	2,01	2,03	Prom.	3,84	3,87	3,98

FUENTE: Elaboración propia

ANEXO 12

COMPARACIONES ENTRE LOS TRATAMIENTOS PARA LA VARIABLE BRILLO

<i>Tratamiento</i>	<i>Media</i>	<i>Agrupación</i>
Capirona – Cera aceite	17,10	a
Quinilla colorada – Cera aceite	18,60	a
Shihuahuaco – Cera aceite	40,42	b
Quinilla colorada - Barniz al agua	49,99	c
Capirona - Barniz al agua	50,48	c
Shihuahuaco - Barniz al agua	50,95	c
Shihuahuaco - Barniz poliuretano	87,47	d
Quinilla colorada - Barniz poliuretano	89,63	d
Capirona - Barniz poliuretano	89,80	d

NOTA: a, b, c y d. Letras distintas señalan diferencias significativas a un nivel de confianza de 95%.
FUENTE: Elaboración propia

ANEXO 13

COMPARACIONES ENTRE LOS TRATAMIENTOS PARA LA VARIABLE ESPESOR DE PELÍCULA SECA

<i>Tratamiento</i>	<i>Media</i>	<i>Agrupación</i>
Quinilla colorada - Barniz poliuretano	129,73	a
Capirona - Barniz al agua	124,51	a b
Capirona - Barniz poliuretano	117,72	a b c
Quinilla colorada - Barniz al agua	111,63	a b c
Shihuahuaco - Barniz poliuretano	103,99	b c
Shihuahuaco - Barniz al agua	101,95	c
Shihuahuaco – Cera aceite	47,93	d
Quinilla colorada – Cera aceite	42,28	d
Capirona – Cera aceite	40,39	d

NOTA: a, b, c y d. Letras distintas señalan diferencias significativas a un nivel de confianza de 95%.
FUENTE: Elaboración propia

ANEXO 14

ANÁLISIS DE LA VARIABLE DUREZA

a) Prueba de Kruskal-Wallis: Dureza vs. Tratamientos

<i>Tratamiento</i>	<i>N</i>	<i>Mediana</i>	<i>Rango promedio*</i>	<i>Z</i>
Quinilla colorada - Barniz al agua	5	1	5,50 a	-2,78
Capirona - Barniz al agua	5	2	8,50 a b	-1,95
Shihuahuaco - Barniz al agua	5	2	10,0 b	-1,53
Quinilla colorada - Barniz poliuretano	5	7	21,0 c	1,53
Shihuahuaco - Barniz poliuretano	5	7	22,0 c d	1,81
Capirona - Barniz poliuretano	5	9	26,0 d	2,92
General	30		15,5	

NOTA: $H = 23,35$ $GL = 5$ $p\text{-value} = 0,000$. $H = 25,06$ $GL = 5$ $p\text{-value} = 0,000$ (ajustado para los vínculos).

NOTA*: a, b, c y d. Letras distintas indican diferencias al 5% de significación.

FUENTE: Elaboración propia

b) Tabla de Decisión para la interacción entre tratamientos.

<i>Tratamientos</i>	$\left \frac{R_i}{n_i} - \frac{R_j}{n_j} \right $	$ALS(K - W) = t_{(1-\frac{\alpha}{2}; N-k)} \sqrt{\left[\frac{S^2(N-1-H)}{N-k} \left(\frac{1}{n_i} - \frac{1}{n_j} \right) \right]}$	<i>Significación</i>
QCBA / CABP	20,50	4,4945	**
QCBA / SHBP	16,50	4,4945	**
QCBA / SHBA	4,50	4,4945	**
QCBA / CABA	3,00	4,4945	n.s.
CABA / SHBA	1,50	4,4945	n.s.
CABA / SHBP	13,50	4,4945	**
CABA / QCBP	12,50	4,4945	**
CABA / CABP	17,50	4,4945	**
SHBA / CABP	16,00	4,4945	**
SHBA / SHBP	12,00	4,4945	**
SHBA / QCBP	11,00	4,4945	**
QCBP / QCBA	15,50	4,4945	**
QCBP / CABP	5,00	4,4945	**
QCBP / SHBP	1,00	4,4945	n.s.
SHBP / CABP	4,00	4,4945	n.s.

NOTA: n.s. = no significativo / ** = significativo.

FUENTE: Elaboración propia

ANEXO 15

ANÁLISIS DE LA VARIABLE ADHERENCIA

c) Prueba de Kruskal-Wallis: Adherencia vs. Tratamientos

<i>Tratamiento</i>	<i>N</i>	<i>Mediana</i>	<i>Rango promedio*</i>	<i>Z</i>
Quinilla colorada - Barniz poliuretano	5	4	6,10 a	-3,05
Shihuahuaco - Barniz poliuretano	5	4	6,10 a	-3,05
Capirona - Barniz poliuretano	5	5	15,4 b	-1,37
Capirona - Barniz al agua	5	6	24,4 c	0,25
Capirona – Cera aceite	5	6	31,0 d	1,44
Quinilla colorada - Barniz al agua	5	6	31,0 d	1,44
Quinilla colorada – Cera aceite	5	6	31,0 d	1,44
Shihuahuaco - Barniz al agua	5	6	31,0 d	1,44
Shihuahuaco – Cera aceite	5	6	31,0 d	1,44
General	45		23,0	

NOTA: $H = 27,56$ $GL = 8$ $p\text{-value} = 0,001$. $H = 37,98$ $GL = 8$ $p\text{-value} = 0,000$ (ajustado para los vínculos)

NOTA*: a, b, c y d. Letras distintas indican diferencias al 5% de significación.

FUENTE: Elaboración propia

d) Tabla de Decisión para la interacción entre tratamientos.

Tratamientos	$\left \frac{R_i}{n_i} - \frac{R_j}{n_j} \right $	$ALS(K - W) = t_{(1-\frac{\alpha}{2}; N-k)} \sqrt{\left[\frac{S^2(N-1-H)}{N-k} \left(\frac{1}{n_i} + \frac{1}{n_j} \right) \right]}$	Significación
CABP / CABA	9,00	5,868	**
CABP / CACE	15,60	5,868	**
CABP / QCBP	9,30	5,868	**
CABP / QCBA	15,60	5,868	**
CABP / QCCE	15,60	5,868	**
CABP / SHBP	9,30	5,868	**
CABP / SHBA	15,60	5,868	**
CABP / SHCE	15,60	5,868	**
CABA / CACE	6,60	5,868	**
CABA / QCBP	18,30	5,868	**
CABA / QCBA	6,60	5,868	**
CABA / QCCE	6,60	5,868	**
CABA / SHBP	18,30	5,868	**
CABA / SHBA	6,60	5,868	**
CABA / SHCE	6,60	5,868	**
CACE / QCBP	24,90	5,868	**
CACE / QCBA	0,00	5,868	n.s.
CACE / QCCE	0,00	5,868	n.s.
CACE / SHBP	24,90	5,868	**
CACE / SHBA	0,00	5,868	n.s.
CACE / SHCE	0,00	5,868	n.s.
QCBP / QCBA	24,90	5,868	**
QCBP / QCCE	24,90	5,868	**
QCBP / SHBP	0,00	5,868	n.s.
QCBP / SHBA	24,90	5,868	**
QCBP / SHCE	24,90	5,868	**
QCBA / QCCE	0,00	5,868	n.s.
QCBA / SHBP	24,90	5,868	**
QCBA / SHBA	0,00	5,868	n.s.
QCBA / SHCE	0,00	5,868	n.s.
QCCE / SHBP	24,90	5,868	**
QCCE / SHBA	0,00	5,868	n.s.
QCCE / SHCE	0,00	5,868	n.s.
SHBP / SHBA	24,90	5,868	**
SHBP / SHCE	24,90	5,868	**
SHCA / SHCE	0,00	5,868	n.s.

NOTA: n.s. = no significativo / ** = significativo.

FUENTE: Elaboración propia

ANEXO 16

ANÁLISIS DE LA VARIABLE RESISTENCIA A LA ABRASIÓN: PÉRDIDA DE PESO

e) Prueba de Kruskal-Wallis: Resistencia ala Abrasión vs. Tratamientos

<i>Tratamiento</i>	<i>N</i>	<i>Mediana</i>	<i>Rango promedio*</i>	<i>Z</i>
Quinilla colorada – Cera aceite	5	38	4,90 a	-3,13
Capirona – Cera aceite	3	42	6,10 a	-2,87
Shihuahuaco – Cera aceite	5	67	12,00 a b	-1,17
Shihuahuaco - Barniz al agua	5	197	17,67 b	-0,22
Quinilla colorada - Barniz al agua	3	225	18,00 b	-0,17
Capirona - Barniz poliuretano	5	253	25,60 c	1,47
Capirona - Barniz al agua	5	257	27,67 c	1,45
Shihuahuaco - Barniz poliuretano	3	329	29,00 c	2,22
Quinilla colorada - Barniz poliuretano	3	308	29,80 c	2,40
General	37		18,97	

NOTA: $H = 29,964$ $GL = 8$ $p\text{-value} = 0,000$. $H = 29,96$ $GL = 8$ $p\text{-value} = 0,000$ (ajustado para los vínculos)

NOTA*: a, b y c. Letras distintas señalan diferencias significativas a un nivel de confianza de 95%.

FUENTE: Elaboración propia

f) Tabla de Decisión para la interacción entre tratamientos.

Tratamientos	$\left \frac{R_i}{n_i} - \frac{R_j}{n_j} \right $	$ALS(K - W) = t_{(1-\frac{\alpha}{2}; N-k)} \sqrt{\left[\frac{S^2(N-1-H)}{N-k} \left(\frac{1}{n_i} - \frac{1}{n_j} \right) \right]}$	Significación
CABP / CABA	1,20	7,4930	n.s.
CABP / CACE	19,70	6,5095	**
CABP / QCBP	4,20	6,5095	n.s.
CABP / QCBA	7,80	7,4930	**
CABP / QCCE	20,90	6,5095	**
CABP / SHBP	3,20	6,5095	n.s.
CABP / SHBA	8,13	7,4930	**
CABP / SHCE	13,80	7,4930	**
CABA / CACE	20,90	7,4930	**
CABA / QCBP	3,00	7,4930	n.s.
CABA / QCBA	9,00	8,3616	**
CABA / QCCE	22,01	7,4930	**
CABA / SHBP	2,00	7,4930	n.s.
CABA / SHBA	9,33	8,3616	**
CABA / SHCE	15,00	8,3616	**
CACE / QCBP	23,90	6,5095	**
CACE / QCBA	11,90	7,4930	**
CACE / QCCE	1,20	6,5095	n.s.
CACE / SHBP	22,90	6,5095	**
CACE / SHBA	11,57	7,4930	**
CACE / SHCE	5,90	7,4930	n.s.
QCBP / QCBA	12,00	7,4930	**
QCBP / QCCE	25,10	6,5095	**
QCBP / SHBP	1,00	6,5095	n.s.
QCBP / SHBA	12,33	7,4930	**
QCBP / SHCE	18,00	7,4930	**
QCBA / QCCE	13,10	7,4930	**
QCBA / SHBP	11,00	7,4930	**
QCBA / SHBA	0,33	8,3616	n.s.
QCBA / SHCE	6,00	8,3616	n.s.
QCCE / SHBP	24,10	6,5095	**
QCCE / SHBA	12,77	7,4930	**
QCCE / SHCE	7,10	7,4930	n.s.
SHBP / SHBA	11,33	7,4930	**
SHBP / SHCE	17,00	7,4930	**
SHBA / SHCE	5,67	8,3616	n.s.

NOTA: n.s. = no significativo / ** = significativo.

FUENTE: Elaboración propia

ANEXO 17

ANÁLISIS DE LA VARIABLE RESISTENCIA A LA ABRASIÓN: ÍNDICE DE DESGASTE

g) Prueba de Kruskal Wallis: Resistencia a la abrasión vs. Tratamientos

Tratamiento	N	Mediana	Rango promedio*	Z
Shihuahuaco - Barniz al agua	3	24,63	3,33 a	-2,62
Capirona - Barniz al agua	3	25,70	5,33 a	-2,28
Quinilla colorada - Barniz al agua	3	28,15	6,33 a	-2,11
Shihuahuaco - Barniz poliuretano	5	86,58	12,80 b	-1,38
Quinilla colorada - Barniz poliuretano	5	98,38	18,80 c	-0,04
Capirona - Barniz poliuretano	5	111,22	22,60 c	0,80
Shihuahuaco – Cera aceite	3	130,00	22,67 c	0,61
Capirona – Cera aceite	5	176,00	28,80 d	2,18
Quinilla colorada – Cera aceite	5	304,00	35,00 e	3,55
General	37		17,30	

NOTA: $H = 32,74$ $GL = 8$ $p\text{-value} = 0,000$.

NOTA*: a, b, c, d y e. Letras distintas señalan diferencias significativas a un nivel de confianza de 95%.

FUENTE: Elaboración propia

h) Tabla de Decisión para la interacción entre tratamientos.

<i>Tratamientos</i>	$\left \frac{R_i}{n_i} - \frac{R_j}{n_j} \right $	$ALS(K - W) = t_{(1-\frac{\alpha}{2}; N-k)} \sqrt{\left[\frac{S^2(N-1-H)}{N-k} \left(\frac{1}{n_i} + \frac{1}{n_j} \right) \right]}$	<i>Significación</i>
CABP / CABA	17,27	5,5068	**
CABP / CACE	6,20	4,7840	**
CABP / QCBP	3,80	4,7840	n.s.
CABP / QCBA	16,27	5,5068	**
CABP / QCCE	12,40	4,7840	**
CABP / SHBP	9,80	4,7840	**
CABP / SHBA	19,27	5,5068	**
CABP / SHCE	0,07	5,5068	n.s.
CABA / CACE	23,47	5,5068	**
CABA / QCBP	13,47	5,5068	**
CABA / QCBA	1,00	6,1452	n.s.
CABA / QCCE	29,67	5,5068	**
CABA / SHBP	7,47	5,5068	**
CABA / SHBA	2,00	6,1452	n.s.
CABA / SHCE	17,33	6,1452	**
CACE / QCBP	10,00	4,7840	**
CACE / QCBA	22,47	5,5068	**
CACE / QCCE	6,20	4,7840	**
CACE / SHBP	16,00	4,7840	**
CACE / SHBA	25,47	5,5068	**
CACE / SHCE	6,13	5,5068	**
QCBP / QCBA	12,47	5,5068	**
QCBP / QCCE	16,20	4,7840	**
QCBP / SHBP	6,00	4,7840	**
QCBP / SHBA	15,47	5,5068	**
QCBP / SHCE	3,87	5,5068	n.s.
QCBA / QCCE	28,67	5,5068	**
QCBA / SHBP	6,47	5,5068	**
QCBA / SHBA	3,00	6,1452	n.s.
QCBA / SHCE	16,33	6,1452	**
QCCE / SHBP	22,20	4,7840	**
QCCE / SHBA	31,67	5,5068	**
QCCE / SHCE	12,33	5,5068	**
SHBP / SHBA	9,47	5,5068	**
SHBP / SHCE	9,87	5,5068	**
SHBA / SHCE	19,33	6,1452	**

NOTA: n.s. = no significativo / ** = significativo.

FUENTE: Elaboración propia

ANEXO 18

ANÁLISIS DE LA VARIABLE RESISTENCIA A LA ABRASIÓN: CICLOS DE DESGASTE POR MIL

i) Prueba de Kruskal Wallis: Resistencia a la abrasión vs. Tratamientos

<i>Tratamiento</i>	<i>N</i>	<i>Mediana</i>	<i>Rango promedio*</i>	<i>Z</i>
Quinilla colorada – Cera aceite	5	124,3	3,00 a	-3,55
Capirona – Cera aceite	5	177,3	8,00 b	-2,44
Shihuahuaco – Cera aceite	3	532,9	13,67 c	-0,89
Capirona - Barniz poliuretano	5	592,7	16,00 c	-0,67
Quinilla colorada - Barniz poliuretano	5	724,1	20,60 d	0,36
Shihuahuaco - Barniz poliuretano	5	884,0	25,40 e	1,42
Quinilla colorada - Barniz al agua	3	2019,9	30,00 f	1,84
Capirona - Barniz al agua	3	2486,9	34,00 f g	2,50
Shihuahuaco - Barniz al agua	3	2730,3	35,00 g	2,67
General	37		20,63	

NOTA: $H = 34,47$ $GL = 8$ $p\text{-value} = 0,000$.

NOTA*: a, b, c, d, e, f y g .Letras distintas indican diferencias al 5% de significación.

FUENTE: Elaboración propia

j) Tabla de Decisión para la interacción entre tratamientos.

<i>Tratamientos</i>	$\left \frac{R_i}{n_i} - \frac{R_j}{n_j} \right $	$ALS(K - W) = t_{(1-\frac{\alpha}{2}; N-k)} \sqrt{\left[\frac{S^2(N-1-H)}{N-k} \left(\frac{1}{n_i} - \frac{1}{n_j} \right) \right]}$	<i>Significación</i>
CABP / CABA	18,00	3,7726	**
CABP / CACE	8,00	3,2774	**
CABP / QCBP	4,60	3,2774	**
CABP / QCBA	14,00	3,7726	**
CABP / QCCE	13,00	3,2774	**
CABP / SHBP	9,40	3,2774	**
CABP / SHBA	19,00	3,7726	**
CABP / SHCE	2,33	3,7726	n.s.
CABA / CACE	26,00	3,7726	**
CABA / QCBP	13,40	3,7726	**
CABA / QCBA	4,00	4,2099	n.s.
CABA / QCCE	31,00	3,7726	**
CABA / SHBP	8,60	3,7726	**
CABA / SHBA	1,00	4,2099	n.s.
CABA / SHCE	20,33	4,2099	**
CACE / QCBP	12,60	3,2774	**
CACE / QCBA	22,00	3,7726	**
CACE / QCCE	5,00	3,2774	**
CACE / SHBP	17,40	3,2774	**
CACE / SHBA	27,00	3,7726	**
CACE / SHCE	5,67	3,7726	**
QCBP / QCBA	9,40	3,7726	**
QCBP / QCCE	17,60	3,2774	**
QCBP / SHBP	4,80	3,2774	**
QCBP / SHBA	14,40	3,7726	**
QCBP / SHCE	6,93	3,7726	**
QCBA / QCCE	27,00	3,7726	**
QCBA / SHBP	4,60	3,7726	**
QCBA / SHBA	5,00	4,2099	**
QCBA / SHCE	16,33	4,2099	**
QCCE / SHBP	22,40	3,2774	**
QCCE / SHBA	32,00	3,7726	**
QCCE / SHCE	10,67	3,7726	**
SHBP / SHBA	9,60	3,7726	**
SHBP / SHCE	11,73	3,7726	**
SHBA / SHCE	21,33	4,2099	**

NOTA: n.s. = no significativo / ** = significativo.

FUENTE: Elaboración propia

ANEXO 19

ANÁLISIS DE LA VARIABLE RESISTENCIA DE LA SUPERFICIE A LÍQUIDOS FRÍOS

k) Prueba de Kruskal-Wallis: Resistencia de la superficie a líquidos fríos vs. Tratamientos

<i>Tratamiento</i>	<i>N</i>	<i>Mediana</i>	<i>Rango promedio*</i>	<i>Z</i>
Quinilla colorada – Cera aceite	8	2,50	6,00 a	-4,20
Capirona – Cera aceite	10	4,00	20,4 b	-1,65
Shihuahuaco – Cera aceite	7	4,00	21,1 b	-1,22
Quinilla colorada - Barniz poliuretano	5	5,00	38,0 c	1,46
Quinilla colorada - Barniz al agua	5	5,00	38,0 c	1,46
Capirona - Barniz poliuretano	5	5,00	38,0 c	1,46
Capirona - Barniz al agua	5	5,00	38,0 c	1,46
Shihuahuaco - Barniz poliuretano	5	5,00	38,0 c	1,46
Shihuahuaco - Barniz al agua	5	5,00	38,0 c	1,46
General	55		28,0	

NOTA: $H = 30,30$ $GL = 8$ $p\text{-value} = 0,000$. $H = 41,24$ $GL = 8$ $p\text{-value} = 0,000$ (ajustado para los vínculos)

NOTA*: a, b y c .Letras distintas indican diferencias al 5% de significación.

FUENTE: Elaboración propia

1) Tabla de Decisión para la interacción entre tratamientos.

Tratamientos	$\left \frac{R_i}{n_i} - \frac{R_j}{n_j} \right $	$ALS(K - W) = t_{(1-\frac{\alpha}{2}; N-k)} \sqrt{\left[\frac{S^2(N-1-H)}{N-k} \left(\frac{1}{n_i} + \frac{1}{n_j} \right) \right]}$	Significación
CABP / CABA	0,00	9,21	n.s.
CABP / CACE	17,55	7,98	**
CABP / QCBP	0,00	9,21	n.s.
CABP / QCBA	0,00	9,21	n.s.
CABP / QCCE	32,00	8,30	**
CABP / SHBP	0,00	9,21	n.s.
CABP / SHBA	0,00	9,21	n.s.
CABP / SHCE	16,93	8,53	**
CABA / CACE	17,55	7,98	**
CABA / QCBP	0,00	9,21	n.s.
CABA / QCBA	0,00	9,21	n.s.
CABA / QCCE	32,00	8,30	**
CABA / SHBP	0,00	9,21	NS
CABA / SHBA	0,00	9,21	n.s.
CABA / SHCE	16,93	8,53	**
CACE / QCBP	17,55	7,98	**
CACE / QCBA	17,55	7,98	**
CACE / QCCE	14,45	6,91	**
CACE / SHBP	17,55	7,98	**
CACE / SHBA	17,55	7,98	**
CACE / SHCE	0,62	7,18	n.s.
QCBP / QCBA	0,00	9,21	n.s.
QCBP / QCCE	32,00	8,30	**
QCBP / SHBP	0,00	9,21	n.s.
QCBP / SHBA	0,00	9,21	n.s.
QCBP / SHCE	16,93	8,53	**
QCBA / QCCE	32,00	8,30	**
QCBA / SHBP	0,00	9,21	n.s.
QCBA / SHBA	0,00	9,21	n.s.
QCBA / SHCE	16,93	8,53	**
QCCE / SHBP	32,00	8,30	**
QCCE / SHBA	32,00	8,30	**
QCCE / SHCE	15,07	7,54	**
SHBP / SHBA	0,00	9,21	n.s.
SHBP / SHCE	16,93	8,53	**
SHBA / SHCE	16,93	8,53	**

NOTA: n.s. = no significativo / ** = significativo.

FUENTE: Elaboración propia

ANEXO 20

REGISTRO FOTOGRÁFICO



Foto 1: Preparación de paneles para la aplicación de los materiales de recubrimiento.

FUENTE: Elaboración propia



Foto 2: Medición del brillo especular

FUENTE: Elaboración propia



Foto 3: Medición del espesor de la película seca por ultrasonido.

FUENTE: Elaboración propia

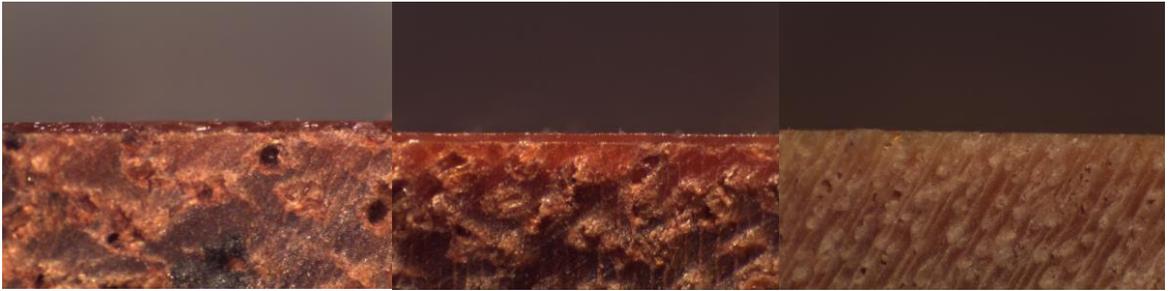


Foto 4: Determinación de la dureza de los materiales de recubrimiento

FUENTE: Elaboración propia



Foto 5: Determinación de la adherencia de los materiales de recubrimiento

FUENTE: Elaboración propia





Foto 6: Medición de la resistencia a la abrasión

FUENTE: Elaboración propia



Foto 7: Determinación de la resistencia de la superficie al agua destilada.

FUENTE: Elaboración propia