UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES Y AMBIENTALES

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL

EFECTO DE TRES GRAMAJES DEL BARNIZ CON RETARDADOR DE FUEGO EN LA COMBUSTION DE TRES MADERAS DE DIFERENTES DENSIDADES BÁSICAS, PUCALLPA-PERÚ

Tesis para optar el título profesional de

INGENIERO FORESTAL

KAREN SILVANA PÉREZ OLÓRTEGUI

Pucallpa, Perú

2025

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI
FACULTADDE CIENCIAS FORESTALES Y AMBIENTALES
ESCUELA PROFESIONALDE INGENIERÍA FORESTAL

COMISIÓN DE GRADOS Y TÍTULOS

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS N° 480

En la ciudad de Pucallpa, a horas 11 :05 am del día 15 de mayo de 2025, de acuerdo al Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Nacional de Ucayali, se reunieron los miembros del Jurado Evaluador en el Auditorio de la Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, designados con memorandum multiple Nº 021-2025-UNU-FCFyA-CGT, conformado por:

Dr. Pedro Aparicio Campos Cabrera	Presidente
Dr. David León Moreno	Miembro
Ing. M.Sc. Moisés Torres Velasco	Miembro

Se procedió a la evaluar la sustentación de Tesis titulada**: "EFECTO DE TRES GRAMAJES DE BARNIZ CON RETARDADOR DE FUEGO EN LA COMBUSTIÓN DE TRES MADERAS DE DIFERENTES DENSIDADES BÁSICAS - PUCALLPA"** presentado por la bachiller **KAREN SILVANA PÉREZ OLÓRTEGUI;** asesorado por el **DR. MANUEL IVAN SALVADOR CÁRDENAS.**

Finalizado la sustentación, se procedió a la formulación de preguntas por parte del jurado Evaluador, siendo absueltas por la sustentante, en consecuencia la tesis fue **APROBADO** por **UNANIMIDAD** y recomendación de publicación, quedando expedito para el otorgamiento del Título Profesional de **INGENIERO FORESTAL**. Siendo las 12:37 pm. horas del mísmo día, se dió por culminado el acto académico, firmando los miembros en señal de conformidad.

Dr. Pedro Aparicio Campos Cabrera
Presidente

Dr. David León Moreno
Miembro

Ing. M.Sc. Moises Torres Velasco
Miembro

ACTA DE APROBACIÓN

Esta tesis fue aprobada por el Jurado Evaluador de la Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales de la Universidad Nacional de Ucayali, como requisito parcial para optar el Titulo Profesional de Ingeniero Forestal.

Dr. Pedro Aparicio Campos Cabrera

Presidente

Dr. David León Moreno

Miembro

Ing. M.Sc. Moisés Torres Velasco

Miembro

Dr. Manuel Iván Salvador Cárdenas

Asesor

Bach. Karen Silvana Pérez Olórtegui

Tesista

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

DIRECCIÓN DE PRODUCCIÓN INTELECTUAL

CONSTANCIA

ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

Nº V/179-2025.

La Dirección de Producción Intelectual de la Universidad Nacional de Ucayali, hace constar por la presente, que el trabajo académico de investigación, titulado:

"EFECTO DE TRES GRAMAJES DEL BARNIZ CON RETARDADOR DE FUEGO EN LA COMBUSTIÓN DE TRES MADERAS DE DIFERENTES DENSIDADES BÁSICAS, PUCALLPA - PERÚ."

Autor(es)	:	PÉREZ OLÓRTEGUI, KAREN SILVANA
Facultad	:	CIENCIAS FORESTALES Y AMBIENTALES
Escuela	:	ING. FORESTAL
Asesor(a)	:	Dr. SALVADOR CÁRDENAS, MANUEL IVÁN

Presenta un porcentaje de similitud de 10%, verificado en el Sistema Antiplagio COMPILATIO,

De acuerdo a los criterios de porcentaje establecidos en el artículo 9 de la DIRECTIVA DE USO DEL SISTEMA ANTIPLAGIO, el cual indica que todo trabajo de investigación no debe superar el 10%. En tal sentido, se declara, que el presente trabajo de investigación: SI Contiene un porcentaje aceptable de similitud, procediéndose a emitir la presente Constancia de Originalidad de Trabajo de Investigación (COTI) a solicitud del asesor.

En señal de conformidad se firma y sella el presente documento.

Fecha: 28/03/2025

Mg. JOSÉ MANUEL CÁRDENAS BERNAOLA
Director de Producción Intelectual

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

DIRECCIÓN DE PRODUCCIÓN INTELECTUAL

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

Repositorio de la Universidad Nacional de Ucayali

Yo, Karen Silvana Pérez Olórtegui.

Autor de la tesis titulada: "Efecto de tres gramajes del barniz con retardador de fuego en la combustión de tres maderas de diferentes densidades básicas., Pucallpa-Perú."

Sustentada el año: 2025.

Asesor(a): Dr. Manuel Iván Salvador Cárdenas.

Facultad: Ciencias Forestales y Ambientales.

Escuela Profesional: Ingeniería forestal.

Autorizo la publicación:

PARCIAL [ ] TOTAL [X]

De mi trabajo de investigación en el Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Ucayali (www.repositorio.unu.edu.pe), bajo los siguientes términos:

Primero: Otorgo a la Universidad Nacional de Ucayali licencia no exclusiva para reproducir, distribuir, comunicar, transformar (únicamente mediante su traducción a otros idiomas) y poner a disposición del público en general mi tesis (incluido el resumen) a través del Repositorio Institucional de la UNU, en formato digital sin modificar su contenido, en el Perú y en el extranjero; por el tiempo y las veces que considere necesario y libre de remuneraciones.

Segundo: Declaro que la tesis es una creación de mi autoría y exclusiva titularidad, por tanto me encuentro facultado a conceder la presente autorización, garantizando que la tesis no infringe derechos de autor de terceras personas, caso contrario, me hago único(a) responsable de investigaciones y observaciones futuras, de acuerdo a lo establecido en el estatuto de la Universidad Nacional de Ucayali, la Superintendencia Nacional de Educación Superior Universitaria y el Ministerio de Educación.

En señal de conformidad firmo la presente autorización.

Fecha: 15 / 05 / 2025

Email: Karen.forest.26@gmail.com Firma:

Teléfono: 934526163 DNI: 47316409

www.repositorio.unu.edu.pe
repositorio@unu.edu.pe

DEDICATORIA

A Jehová, por haberme regalo la dicha de existir, ser el creador del universo y por darme una familia maravillosa.

A mis amados Padres Liliana y Luis, por ser mi inspiración, mi apoyo, mi sostén y mis héroes sin capa para lograr mis objetivos.

A mis queridos Hermanos Gian, Jade y Giacomo, por ser parte de mí y ser un motivo más para seguir adelante con mi metas y propósitos de vida.

A Jhony, por su apoyo incondicional, por su amor y su gran compañía en mi vida y en la trayectoria de mi tesis.

A mis gatos, Vincent Ying Yang, Esperanza, Nieve, Binshin y Bartolito, que siempre me brindaron su amor y compañía.

Finalmente, agradezco a todas las personas que estuvieron a mi lado en este hermoso proceso, en la cual logro subir un peldaño más en mi vida profesional y seguir luchando por lograr mis objetivos y metas trazados en mi vida.

AGRADECIMIENTO

Al amor de Dios, en primer lugar, por ser el creador de la vida y por darme la sabiduría, paciencia e inteligencia para lograr este propósito.

A mi Alma Mater, la Universidad Nacional de Ucayali, en especial a mi carrera de Ingeniería Forestal y a toda la plana docente que me impartieron sus conocimientos.

A mi asesor, el Doctor Manuel Iván Salvador Cárdenas, por sus enseñanzas y sus sabios consejos en la elaboración y ejecución de esta investigación.

A memoria de los Ingenieros que ya partieron a la eternidad, al Ing. David Gerardo Llúncor Mendoza y al Ing. Fermín Campos Solórzano, que me brindaron la confianza para poder realizar este proyecto universitario.

Al INIA (Instituto Nacional de Innovación Agraria), por las muestras botánicas y al CITE forestal, por el dimensionamiento y secado de mis probetas para mi investigación.

Al Instituto de Educación Superior Tecnológico Publico de Atalaya (IESTPA), en especial al director, el Ing. Juan Carlos Rioja Taricuarima, por su amabilidad y por haberme facilitado las instalaciones de su laboratorio.

Al Ing. Jorge Augusto Alencar Vela, por ayudarme a elaboración de mi proyecto de tesis.

A Jhony Manuel López Ramírez, por ayudarme en los ensayos de mi tesis.

A todas las personas que directa e indirectamente me brindaron su apoyo en la elaboración y culminación de mi proyecto de tesis.

ÍNDICE GENERAL

	Pág
DEDICATORIA…….....	vi
AGRADECIMIENTO……	vii
ÍNDICE GENERAL……	viii
ÍNDICE DE TABLAS……	xi
ÍNDICE DE FIGURAS……..	xii
RESUMEN……	xiii
ABSTRACT……	xiv
INTRODUCCIÓN……..	xv
CAPÍTULO I. EL PROBLEMA DE LA INSVESTIGACIÓN…….	1
1.1. Planteamiento del problema……...	1
1.2. Formulación del problema……..	4
1.3. Justificación e importancia……..	4
1.4. Objetivos de la investigación……..	6
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO……..	7
2.1. Antecedentes de la investigación……..	7
2.1.1. Antecedentes internacionales…….	7
2.1.2. antecedentes nacionales…….	12
2.2. Bases teóricas……..	12
2.2.1. Combustión……	12
2.2.2. Algunas consideraciones de la madera con respecto en el sentido del eje……	15
2.2.3. Tipos de corte en la madera……	16
2.2.4. Aplicación de ignífugos……	17
2.2.5. Especies forestales analizadas según densidad…….	21
2.3. Definición de términos básicos……..	26
CAPÍTULO III. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN……	29
3.1. Método de investigación……	29

3.2. Población y muestra…… 29
3.2.1. Población…… 29
3.2.2. Muestra…….. 29
3.3. Procedimiento de recolección de datos…… 30
3.3.1. Ubicación del área de estudio…… 30
3.3.2. Obtención de las probetas…….. 30
3.3.3. Clasificación y codificación de las probetas…….. 31
3.3.4. Aplicación del barniz con retardador…….. 31
3.3.5. Ensayo de combustión de las probetas……. 33
3.3.6. Diseño experimental……. 33
3.4. Técnicas e instrumentos para la recolección de datos…….. 34
3.4.1. Técnicas…… 34
3.4.2. Instrumentos…….. 34
3.5. Procesamiento para la recolección de datos……. 35
3.6. Tratamiento de datos……. 35
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN…… 37
4.1. Efecto del barniz con retardador de fuego con tres gramajes en tres maderas de diferentes densidades…….. 37
4.1.1. Efecto del barniz con retardador de fuego con tres gramajes en madera de densidad media del *Brosimun potabile* Ducke (Panguana)……..... 39
4.1.2. Efecto del barniz con retardador de fuego con tres gramajes en madera de densidad alta de la *Swartzia recurva* Poepp (Huayruro)……. 41
4.1.3. Efecto del barniz con retardador de fuego con tres gramajes en madera de densidad muy alta del *Dipteryx micrantha* Harms (Shihuahuaco)…….. 44

4.2. Relación entre la densidad básica de la madera y el tiempo de combustión con barniz retardante del fuego……..... 47
4.3. Relación entre el gramaje de barniz con retardador de fuego y el tiempo de combustión de la madera……. 48
CAPÍTULO IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES…… 51
4.1. Conclusiones…….. 51
4.1. Recomendaciones……. 52
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS…….. 53
ANEXOS……. 60

INDICE TABLAS

		Pág
Tabla 1.	Recolección de datos……..	35
Tabla 2.	Tiempos de combustión en minutos de las probetas según su gramaje y densidad……..	37
Tabla 3.	Análisis de variancia de dos factores del tiempo de combustión de la madera……	37
Tabla 4.	Resumen de los datos de tiempos de combustión de las probetas de densidad media…….....	39
Tabla 5.	Análisis de variancia de un factor (gramajes) en probetas de densidad media…….	39
Tabla 6.	Prueba de Dunnett de tiempo de combustión por gramaje……	40
Tabla 7.	Resumen de los datos de tiempos de combustión de las probetas de densidad alta…….....	41
Tabla 8.	Análisis de variancia de un factor (gramajes) en probetas de densidad alta…….	42
Tabla 9.	Prueba de Dunnett de tiempo de combustión por gramaje…….	42
Tabla 10.	Resumen de los datos de tiempos de combustión de las probetas de madera de densidad muy alta…….	44
Tabla 11.	Análisis de variancia de un factor (gramajes) en probetas de densidad muy alta……	44
Tabla 12.	Prueba de Dunnett de tiempo de combustión por gramaje……	45
Tabla 13.	Resumen del análisis de relación y regresión de la densidad básica y el tiempo de combustión de la madera con barniz retardante del fuego…….	47
Tabla 14.	Resumen del análisis de correlación y regresión del gramaje del barniz con retardante del fuego y el tiempo de combustión de la madera……	48
Tabla 15.	Tiempos de combustión de las probetas según su gramaje y densidad…….	61

INDICE FIGURAS

		Pág
Figura 1.	Mapa de ubicación del I.E.S.T.P.A…….....	30
Figura 2.	Dimensiones de la probeta…….	31
Figura 3.	Prototipo de horno artesanal……..	33
Figura 4.	Gráfico de la interacción de las densidades de la madera y gramaje del barniz de madera de densidad media del *Brosimun potabile* Ducke (panguana)……	38
Figura 5.	Tiempos de combustión de las probetas de densidad media……..	41
Figura 6.	Tiempos de combustión de las probetas de densidad alta……	43
Figura 7.	Tiempos de combustión de las probetas de densidad muy alta……	46
Figura 8.	Representación gráfica de la relación de la densidad básica de la madera y el tiempo de combustión con barniz retardante del fuego.	47
Figura 9.	Relación entre gramaje de barniz-tiempo de combustión de la madera……...	49
Figura 10.	Barniz retardador de fuego INTERPAINTS y brocha……	62
Figura 11.	Balanza gramera……..	62
Figura 12.	Codificación de las probetas……..	63
Figura 13.	Probetas codificadas de Huayruro……	63
Figura 14.	Probetas codificadas de Shihuahuaco…….	64
Figura 15.	Probetas codificadas de Panguana……..	64
Figura 16.	Proceso de pesado de las probetas…….	65
Figura 17.	Aplicación de capas de barniz con retardador de fuego……	65
Figura 18.	Secado al sol de las probetas……	66
Figura 19.	Ensayo de combustión de las probetas con termómetro ……..	66
Figura 20.	Ensayo de combustión de las probetas…….	67
Figura 21.	Probeta después de las pruebas de combustión……	67
Figura 22.	Tesista (Autor)……..	68

RESUMEN

El objetivo fue demostrar el efecto de los gramajes del barniz con retardador de fuego en la combustión de tres maderas de diferentes densidades básicas y como objetivos específicos: Determinar el efecto del barniz con retardante del fuego con tres gramajes en la combustión de la madera de densidades diferentes, determinar la relación entre la densidad básica de la madera y el tiempo de combustión con barniz y determinar la relación entre los gramajes del barniz con retardador del fuego y el tiempo de combustión en madera de tres especies forestales. La muestra lo conformó 72 probetas, de tres especies, *Dipteryx micrantha* (Shihuahuaco) con densidad básica muy alta, *Swartzia recurva* (Huayruro) con densidad básica alta y *Brosimum potabile* (Panguana) con densidad básica media, se aplicó uno, dos y tres capas de barniz (gramaje 157.86 g/m² por capa). Los resultados ponen manifiestan que existe interacción altamente significativa entre la densidad básica de la madera y los gramajes del barniz con retardador de fuego; lo que no permite extraer ninguna conclusión. por lo tanto, esta interacción se resolvió analizando por cada densidad básica. La madera de *Brosimum potabile* (Panguana) barnizado con gramaje 3 capas, proporcionó el mayor tiempo. La madera de *Swartzia recurva* (Huayruro) de con gramaje 1 y 2 capas, proporcionaron mayor tiempo. La madera de *Dipteryx micrantha* (Shihuahuaco)**,** con 1 capa de gramaje, proporcionaron mayor tiempo de retardo en la combustión con relación a los testigos.

Palabras clave: Barniz ignifugo, densidad básica, gramaje, Huayruro, Panguana, Shihuahuaco.

ABSTRACT

The objective was to demonstrate the effect of the weights of the varnish with fire retardant on the combustion of three woods of different basic densities and as specific objectives: Determine the effect of the varnish with fire retardant with three weights on the combustion of wood of different densities. different, determine the relationship between the basic density of the wood and the combustion time with varnish and determine the relationship between the weights of the varnish with fire retardant and the combustion time in wood from three forest species. The sample was made up of 72 specimens, of three species, *Dipteryx micrantha* (Shihuahuaco) with very high basic density, *Swartzia recurva* (Huayruro) with high basic density and *Brosimum potabile* (Panguana) with medium basic density, one, two and three layers were applied. of varnish (weight 157.86 g/m² per layer). The results show that there is a highly significant interaction between the basic density of the wood and the weights of the varnish with fire retardant; which does not allow any conclusion to be drawn. Therefore, this interaction was resolved by analyzing each basic density. The *Brosimum potabile* (Panguana) wood, varnished with 3 layers, provided the longest time. The *Swartzia recurva* (Huayruro) wood with 1 and 2 layers grammage provided more time. The wood of *Dipteryx micrantha* (Shihuahuaco), with 1 layer of weight, provided a longer delay time in combustion in relation to the controls.

Keywords: Fireproof varnish, basic density, weight, Huayruro, Panguana, Shihuahuaco.

INTRODUCCIÓN

La madera es un material ampliamente utilizado en la industria de la construcción y el diseño debido a su versatilidad, resistencia y estética natural. En la ciudad de Pucallpa la madera es un material ampliamente utilizado en la construcción de casas y en la fabricación de muebles, debido a su disponibilidad y accesibilidad. Sin embargo, la falta de regulación y control en la utilización de la madera en la construcción y la fabricación de muebles puede generar riesgos para la seguridad humana y el medio ambiente.

La madera ha sido un material fundamental en la construcción a lo largo de la historia, utilizándose no solo en la edificación de viviendas, sino también en diversas estructuras y proyectos arquitectónicos. Su versatilidad y disponibilidad la han convertido en un recurso esencial para la construcción. (Bascuñan, 2021).

Lui (2024) menciona en su investigación, que la construcción con madera se está convirtiendo en una opción cada vez más popular en la industria de la construcción, gracias a sus ventajas económicas y ambientales. Sin embargo, en áreas propensas a incendios forestales, es crucial implementar medidas preventivas adicionales para minimizar los riesgos y daños a la propiedad en caso de desastres naturales. Una de estas medidas preventivas es el tratamiento de la madera con retardante de llama.

Sin embargo, uno de los desafíos inherentes al uso de la madera en aplicaciones estructurales es su susceptibilidad al fuego, lo que plantea riesgos de seguridad y limitaciones en su uso en ciertos entornos. En respuesta a esta preocupación, se han desarrollado diversos tratamientos ignífugos para mejorar la resistencia al fuego de la madera, entre los que destaca el barniz con retardador

de fuego.

El barniz con retardador de fuego es un recubrimiento que se aplica sobre la superficie de la madera para reducir su inflamabilidad y retardo en la propagación del fuego. Aunque se ha demostrado que este tipo de tratamiento puede mejorar significativamente las propiedades ignífugas de la madera, su eficacia puede variar según diferentes factores, como la densidad de la madera. La densidad de la madera, determinada por la cantidad de masa presente en un volumen determinado, influye en sus propiedades físicas y mecánicas, y se espera que también tenga un impacto en la eficacia del barniz con retardador de fuego.

En esta tesis, se abordó la investigación sobre el efecto del barniz con retardador de fuego aplicando diferentes gramajes (1, 2 y 3 capas) a muestras de madera de diferentes especies y densidades. El barniz utilizado fue de la marca InterPaints (Pinturas de calidad mundial), en su denominación química está compuesta por Pintura a base de Resina Alquídica-Modificada, (InterPaints, 2014). Se planteó la hipótesis de que la densidad de la madera y el gramaje influirá en la eficacia del tratamiento ignífugo, y que el análisis sistemático de esta relación proporcionará información valiosa para la optimización de la protección contra incendios en estructuras de madera. Para abordar esta hipótesis, se llevarán a cabo experimentos controlados en los que se aplicará diferentes gramajes de barniz con retardador de fuego a muestras de madera con diversas densidades, seguido de pruebas de resistencia al fuego para evaluar su desempeño en condiciones de combustión simulada.

Por lo tanto, el objetivo de esta investigación es evaluar el efecto de tres gramajes del barniz con retardador de fuego en la combustión de tres maderas

de diferentes densidades básicas, con el fin de determinar la eficacia y efectividad del barniz con retardador de fuego en la reducción de la combustión de la madera y la prevención de incendios en la ciudad de Pucallpa, Perú.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Planteamiento del problema

En los últimos años el planeta ha experimentado un drástico incremento en su temperatura, ocasionando cambios bruscos en diferentes sectores, como el social, económico y ambiental. Los efectos de este cambio climático se están notando en varios lugares del mundo y está cobrando más notoriedad en la parte de la región amazónica, donde; en la amazonia peruana presentó sequías en los años 2010 y 2016, cuyo evento suelen estar asociados al fenómeno El Niño o al calentamiento del Atlántico Norte tropical (Ernesto, 2019).

En el caso de Perú, se han registrado varios fenómenos climáticos extremos, incluyendo lluvias intensas en el norte, sequías prolongadas en la sierra central, heladas frecuentes en la sierra sur y, en la selva, un aumento en la frecuencia de "friajes" (caídas bruscas de temperatura acompañadas de vientos y lluvias), así como precipitaciones intensas y sequías prolongadas. (Rossana, 2021). Sin embargo, la ciudad de Pucallpa, capital del departamento de Ucayali, no es la excepción ante este acontecimiento mundial; notándose el incremento de la temperatura, ráfagas de vientos, cambios en las estaciones, lluvias e incendios forestales, siendo, este último un peligro latente en la ciudad de Pucallpa, considerando que la gran mayoría de viviendas están construidas de material rústico como la madera y esto sucede por el desconocimiento de materiales complementarios y su alto costo en el mercado que pueden ser aplicados en la madera para una mayor resistencia al fuego y el preservado.

García M. y Benedetti S (2021) mencionan que, desde tiempos antiguos, la madera ha sido un material de elección para la construcción debido a sus excelentes propiedades, que incluyen una gran resistencia mecánica, características físicas destacadas, una estética atractiva y una notable ligereza. Sin embargo, la madera es un material combustible que puede ser propenso a incendios, lo que puede generar riesgos para la seguridad humana y el medio ambiente.

En este sentido, el Censo Nacional 2017: XII de Población y VII de Vivienda del Perú, obtuvo como resultado 7 millones 698 mil 900 viviendas con ocupantes presentes comparado con el nivel registrado en el Censo del 2007 se incrementaron en 20,3% que equivale a 1 millón 298 mil 769 viviendas, donde; para el departamento de Ucayali registró 117 mil 776 viviendas con ocupantes presentes. Asimismo, otros resultados del censo en mención, revelan que 4 millones 298 mil 274 viviendas particulares, 727 mil 778 viviendas tienen como material predominante en las paredes exteriores madera, representando el 9,5% del total de viviendas particulares, en comparación con el Censo del 2007, las viviendas con paredes exteriores de madera representan un crecimiento del 17,8% en el mismo periodo, lo que significa un incremento de 110 mil 36 viviendas con este material, por lo tanto, la mayoría de viviendas están construidas de material natural como es la madera, las mismas que se ven vulnerables a incendios o a alguna situación de peligro (INEI, 2018).

Según Forest Products Laboratory (1999) citado por (Garay R. & Henriquez M., 2010), menciona que la madera puede presentar una notable resistencia al fuego bajo ciertas condiciones, ya que cuando se expone a altas temperaturas, se forma una capa carbonizada que actúa

como aislante y retrasa la degradación del material. La capacidad de resistencia al fuego de una estructura de madera depende en gran medida de su grosor y la cantidad de carbonización en la sección transversal, que es el principal factor de resistencia al fuego en estructuras de madera. Sin embargo, en aplicaciones donde se utilizan piezas más delgadas, como en muebles o revestimientos, la madera es más propensa a arder con facilidad, lo que limita su comportamiento frente al fuego.

No obstante, para prolongar la vida útil de la madera y tenga una mayor resistencia al fuego, existen capas de protección como es el caso del barniz con retardador de fuego, producto químico que se aplica para reducir la capacidad de la madera para encenderse y propagar el fuego. Estos productos forman una barrera protectora en la madera que desacelera la propagación de las llamas y el calor en caso de incendio, retrasando la ignición y reduciendo la velocidad de combustión. Esto es especialmente crucial en la construcción, ya que proporciona tiempo adicional para la evacuación y el control del fuego, mejorando significativamente la seguridad contra incendios. (INQUIFESA, 2022).

Sin embargo, la efectividad del barniz con retardador de fuego puede variar dependiendo del tipo de madera y del gramaje del barniz utilizado. En la ciudad de Pucallpa, Perú, no se han realizado estudios previos sobre el efecto del barniz con retardador de fuego en la combustión de la madera. Por lo tanto, es necesario realizar una investigación que permita evaluar el efecto de tres gramajes del barniz con retardador de fuego en la combustión de tres maderas de diferentes densidades básicas.

Con la finalidad de determinar el efecto que produce el barniz con retardador en la madera, se realizó un trabajo de investigación utilizando

barniz con retardador en maderas de diferentes densidades básicas, a fin de reducir o retardar el proceso de combustión en la madera (incendios), causadas generalmente por las altas temperaturas que se registran en nuestra ciudad, y resolver las siguientes interrogantes:

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema general

- ¿Cuál es el efecto de tres gramajes del barniz con retardador de fuego en la combustión de tres maderas de diferentes densidades básicas, Pucallpa-Perú?

1.2.2. Problemas específicos

- ¿En cuál de las densidades básicas de la madera se obtendrá un mayor efecto retardante al fuego?
- ¿En cuál de los gramajes se obtendrá un mayor efecto retardante al fuego?
- ¿Cuál es la relación entre los gramajes del barniz con retardador de fuego y el tiempo de combustión de tres maderas de diferentes densidades básicas?

1.3. Justificación e importancia

La madera es un material de gran uso en la construcción y la industria en general. Sin embargo, su combustibilidad es un factor que puede afectar la seguridad y la integridad de las estructuras. En la ciudad

de Pucallpa, la madera es un recurso abundante y se utiliza ampliamente en la construcción de viviendas, edificios entre otros proyectos.

El uso de barnices con retardador de fuego es una práctica no tan común, por su alto costo dentro del mercado, no obstante, se utiliza para reducir la combustión en la madera. Sin embargo, la efectividad de estos barnices puede variar dependiendo de la densidad básica de la madera y del gramaje del barniz utilizado.

La presente investigación es importante porque se enfocó en el estudio y comportamiento del barniz con retardador de fuego en la combustión de la madera.

La evaluación del comportamiento de los materiales de construcción frente al fuego se basa en parámetros como tiempo de ignición, pérdida de peso, índice de carbonización, propagación de llama, tasa de calor liberado y generación de humos, entre otros. La resistencia al fuego medida en minutos, se refiere a la capacidad de un elemento de construcción para mantener sus propiedades estructurales dentro de ciertos límites de temperatura durante un periodo determinado. En base a este último concepto están definidas las exigencias de resistencia al fuego, según por la Ordenanza General de Urbanismo y Construcción (OGUC) del Ministerio de Vivienda y Urbanismo., las exigencias de resistencia al fuego van desde F15 a F180, indicando esta codificación la cantidad de minutos que las estructuras deben resistir. (MINVU, 2004) citado por (Garay R. & Henriquez M., 2010).

Con el presente trabajo se pretende determinar el efecto de tres gramajes del barniz con retardador de fuego en la combustión de tres maderas de diferentes densidades básicas y en cuál de las densidades

presenta mayor efecto con relación al uso de la madera en la construcción de casas y edificaciones.

1.4. Objetivos de la investigación

1.4.1. Objetivo general

- Determinar el efecto de tres gramajes del barniz con retardador de fuego en la combustión de la madera de tres maderas de diferentes densidades básicas, Pucallpa- Perú.

1.4.2. Objetivos específicos

- Determinar en cuál de las densidades básicas de la madera se obtendrá un mayor efecto retardante al fuego.
- Determinar en cuál de los gramajes se obtendrá un mayor efecto retardante al fuego.
- Determinar la relación entre los gramajes del barniz con retardador del fuego y el tiempo de combustión de tres maderas de diferentes densidades básicas.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

2.1.1. Antecedentes internacionales

Klinger *et al.*, (1998) citado por (Klinger *et al*., 2002) los investigadores descubrieron que las diferentes especies de madera presentan comportamientos combustibles únicos, que están influenciados por el contenido de humedad en la zona de saturación de las fibras. Los resultados mostraron que el abarco es la especie que mejor resiste al fuego, especialmente en cuanto al tiempo de extinción de la llama y la pérdida porcentual de peso. Le siguen en orden de resistencia al fuego el almendro, el zapato, el chingalé y, finalmente, el otobo, que es la especie que peor se comporta ante el fuego.

Klinger *et al.*, (2000) citado por (Klinger *et al*., 2002)**,** los investigadores analizaron el efecto de tres formulaciones diferentes de ignífugos en la combustibilidad de cinco especies de madera. Utilizaron el método de inmersión para aplicar los tratamientos y evaluaron variables como la velocidad de carbonización, el tiempo de extinción de la llama y la pérdida porcentual de peso. Las tres formulaciones de ignífugos empleadas fueron mezclas de sulfato de amonio, bórax y un tercer componente, que varió entre cloruro de zinc, ácido bórico y dicromato de sodio, en una proporción específica de 70%, 20% y 10%, respectivamente.

Klinger *et al.*, (2002), en su investigación “Efectos de la aplicación de cinco tratamientos ignifugantes sobre la combustibilidad de las maderas de Aceite María, Cedro Macho, Güino y Sajo”, los resultados de la investigación mostraron que la madera de aceite maría fue la más afectada por los tratamientos contra fuego, especialmente por el 3 y el 5, que están compuestos por: cloruro de amonio (21%), cloruro de zinc (59%) y sulfato de amonio (20%); bromuro de potasio (30%), carbonato de potasio (60%) y sulfato de amonio (10%). Por otro lado, el cedro macho no se vio afectado por los tratamientos. Además, se encontró que la mayoría de los tratamientos fueron efectivos para reducir el tiempo de extinción de la llama en las maderas de güino y sajo. Los resultados también mostraron que el comportamiento de las maderas frente al fuego se manifestó de manera coherente en diferentes variables, como pérdida de peso, tiempo de extinción de la llama y velocidad de carbonización. Esto permitió concluir de manera clara cuál de las maderas estudiadas se comportó mejor ante la acción del fuego.

Arquicity (2006) citado por (Garay R. & Henriquez M., 2010), menciona que cuando la madera ha sido expuesta directamente al fuego, puede perder entre 0.5 y 1 mm de grosor por minuto, dependiendo del tipo de madera, debido al proceso de carbonización. Sin embargo, si la madera se trata previamente con un retardante de fuego, puede resistir por más tiempo sin carbonizarse. Otros autores analizaron la formulación de un recubrimiento pirorretardante preparado con resina de poliester insaturado y resina epóxica. Los resultados mostraron que el recubrimiento presentaba excelentes propiedades físico-químicas. Además, se encontró que cuando el espesor del recubrimiento en la madera era de 2,0 mm, la resistencia al fuego alcanzaba

un límite de 210 minutos. (Jun Wei *et al.*, 2007) citado por (Garay R. & Henriquez M., 2010).

Chuen Shii *et al.*, (2009) citado por (Garay R. & Henriquez M., 2010), los investigadores desarrollaron un nuevo retardador de fuego para crear un revestimiento ignífugo intumescente (FICR) innovador. Utilizaron diferentes proporciones de polvo de grafito artificial (POP), sericita (Al4 (OH)4 (KAl-Si3O10)2) y mezcla de grafito/sericita. El FICR se componía en 19,8% de retardador de llama, 15% de agente de deshidratación, 18% de agente espumante, 7,2% de resina base y 40% de disolvente, el que fue preparado y aplicado en la parte superior de un contrachapado. Después de aplicar el FICR en un contrachapado, los investigadores descubrieron que el porcentaje de sericita superior al 75%, se cumplía con los requisitos de retardo de fuego, lo que hacía innecesario el uso de polvo de grafito artificial. Lo más significativo fue que encontraron una alternativa natural y sostenible para el retardador de llama, basada en sericita, que se puede obtener a través de un proceso de minería convencional y no requiere agentes de carbono.

Garay R. & Henriquez M. (2010), indican que el análisis estadístico revelo las diferencias significativas en la pérdida de peso y el índice de carbonización entre los tableros tratados con retardante de llama y aquellos sin protección. Al comparar los tableros estructurales, se encontró que el contrachapado con retardante de llama presentó el mejor comportamiento frente al fuego, mientras que el HB mostró el peor desempeño. Los resultados demostraron que la pintura retardante de llama es efectiva para proteger los tableros estudiados. La aplicación de esta norma de ensayo fue un indicador valioso del comportamiento al fuego y proporcionó información significativa

sobre los tableros. Por lo tanto, se recomienda utilizar esta norma como un complemento a los ensayos de resistencia al fuego a escala real.

Canosa *et al.*, (2021), seleccionaron tres materiales formadores de película que contenían pigmentos activos y complementarios similares. Para mejorar la eficiencia del sistema, se formularon las pinturas con estructuras híbridas utilizando materiales fibrosos de refuerzo. Las muestras se aplicaron sobre paneles de Araucaria angustifolia y se sometieron a ensayos en el laboratorio durante seis meses. Los resultados indicaron un excelente desempeño en los ensayos de Conductividad CT, Túnel Inclinado (Avance de llama), Cabina OI (Índice de oxígeno) y en la Cámara Horizontal-Vertical UL 94 (Resistencia a la llama intermitente de un mechero Bunsen). Sin embargo, se encontraron diferencias en el comportamiento entre los materiales formadores de película, siendo el caucho clorado plastificado el que presento la mejor respuesta, seguido por la resina fenólica modificada y finalmente por la base epoxídica curada con una poliamina. Además, se encontró que las formulaciones híbridas presentaron un mejor comportamiento que las muestras de referencia, y se correlaciono la performance con las propiedades térmicas de las fibras.

Isábal C. (2015), quien investigó como mejorar la resistencia al fuego de la madera mediante la impregnación con diferentes productos. Se seleccionó tres especies de madera: el pino silvestre, el pino laricio y el haya; y se utilizaron dos productos para la impregnación: sulfato de magnesio hidratado (Epsomita) y borato de sodio hidratado (Neobor). Después de realizar los respectivos ensayos de caracterización térmica y comportamiento frente al fuego, se obtuvo como conclusión que la impregnación con ambos productos mejora la resistencia al fuego de la madera. Sin embargo, las

muestras impregnadas con Epsomita retuvieron una mayor cantidad de producto y que el pino laricio mostro los mejores resultados en términos de cantidad de producto impregnado y resistencia al fuego.

Garcia J. (2015), estudio el comportamiento al fuego de muestras de madera conífera de dos especies de pino: pino laricio y pino silvestre, El objetivo fue evaluar cómo diferentes soluciones de impregnación afectaban la reacción de la madera al fuego. Los resultados mostraron que, independientemente de la solución utilizada, se obtuvo una mejora notable en el comportamiento al fuego de ambas especies de pino, tanto en las muestras de pino laricio como en las de pino silvestre.

Sotomayor J. y Gallegos G. (2019)**,** los resultados indicaron que la exposición al fuego provocó un aumento en la pérdida de masa de la madera. Por otro lado, se observó una disminución en los módulos de elasticidad y de ruptura de la madera a medida que aumentaba el tiempo de exposición al fuego.

Sotomayor J. y Avila L. (2021), la investigación tuvo dos objetivos principales: determinar la densidad aparente y la capacidad de retención de sales de boro en diferentes especies de madera, y medir su resistencia al fuego a través del tiempo de ignición y la pérdida de masa. Se seleccionaron tres especies de madera: *Spathodea campanulata* (Tulipán africano), *Fraxinus americana* (Fresno blanco) y *Albizia plurijuga* (Tepehuaje), se impregnaron cuarenta probetas de ácido bórico y borato de sodio. Los resultados mostraron que la impregnación con sales de boro aumenta la resistencia al fuego de la madera. Además, se encontró que a medida que la densidad de la madera aumenta, los tiempos de ignición se incrementan y la pérdida de masa disminuye.

2.1.2. Antecedentes nacionales

Ruíz H. (2013), en su investigación "Resistencia al fuego de la madera de plantaciones demostrativas de *Simarouba amara* (Aubl) "marupa" y *Cedrelinga cateniformis* (Ducke) "tornillo" de diferentes edades en puerto almendra, Iquitos-Perú", determinó que la mayor resistencia al punto de ignición con 323°C y 393°C, se encontró que la madera de estas especies presenta mayor resistencia al fuego en los árboles de más de >30-40 años de edad; especialmente en el nivel inferior del fuste. Los resultaron Los resultados mostraron que la madera de S. amara, alcanzó una temperatura de ignición de 323°C y una temperatura de descomposición térmica de 350°C, mientras que la madera de *C. cateniformis* alcanzó una temperatura de ignición de 393°C y una temperatura de descomposición térmica de 450°C.

Flores K. y Flores G. (2024), en su investigación “Propuesta de tratamiento para mejorar el comportamiento de resistencia al fuego de la madera, mediante el uso de aditivos sustentables: Fosfato diamónico y bórax”**,** llegaron a la conclusión de que el tratamiento natural de la madera, utilizando aditivos sostenibles como el fosfato diamónico y el bórax, puede mejorar significativamente su resistencia al fuego. Esta solución ecológica y segura tiene el potencial de ser aplicada en la industria de la construcción, ofreciendo una alternativa más respetuosa con el medio ambiente.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Combustión

La combustión es un proceso químico que ocurre cuando una sustancia reacciona con el oxígeno, liberando calor y, a menudo, acompañada de llama, incandescencia o humo. Para que un incendio se propague y avance, se

requieren cuatro elementos fundamentales: combustible, una fuente de calor intensa que genere gases inflamables, una fuente de ignición que encienda esos gases y, finalmente, oxígeno para mantener la reacción en curso. (JUNAC, 1988) citado por (Klinger *et al.*, 2003).

Evolución de la combustión en la madera

En la Zona A, cuando la madera se calienta hasta 200°C, se inicia un proceso de desecación. El agua absorbida por la madera se libera a temperaturas entre 98°C y 103°C, rompiendo su unión higroscópica. En esta etapa, la madera se deshidrata, produciendo vapor de agua y pequeñas cantidades de dióxido de carbono, ácido fórmico y ácido acético. Es importante destacar que los gases producidos en este proceso son el resultado de una pirólisis lenta y no son combustibles. (Silva, 1970) citado por (Klinger et al., 2003).

En la Zona B, que abarca temperaturas entre 200°C y 280°C, los gases producidos todavía no son combustibles. Sin embargo, en esta zona se alcanza una condición exotérmica, es decir, se libera calor, a temperaturas más bajas que las que se alcanzarían en un proceso de pirólisis sin aire. La temperatura en la que el pirólisis y la oxidación se combinan y se vuelven exotérmicos se considera una de las definiciones del punto de ignición de la madera, y varía entre 150°C y 240°C según diferentes autores, entre 150 °C y 240 °C. (Silva, 1970) citado por (Klinger et al., 2003).

En la Zona C, que se extiende de 280°C a 500°C, la presencia de una fuente externa de calor hace que las zonas A y B se desplacen hacia el interior de la madera, dando paso a la zona C. En esta zona, la combustión es completa y se produce por la ignición de los gases combustibles formados, que salen arrastrando gotas de alquitrán altamente inflamables. El residuo que

queda en esta zona es el carbón. (Fleischer, 1960) citado por (Klinger et al., 2003).

En la Zona D, que se encuentra por encima de 500°C, los gases combustibles se agotan y la llama se extingue. Sin embargo, a temperaturas muy altas, donde el pirólisis de gases ha sido casi completamente consumido, el oxígeno puede reaccionar con el carbón residual en la superficie, lo que puede provocar una combustión por incandescencia. (Fleischer, 1960) citado por (Klinger et al., 2003).

Factores que afectan la combustibilidad de la madera

- **Contenido de humedad:** La relación entre el contenido de humedad y la combustibilidad de la madera es inversamente proporcional. Esto se debe a que una gran parte del calor aplicado se utiliza para evaporar el agua que se encuentra adherida a las paredes celulares de la madera por fuerzas físicas y químicas. Cuando el contenido de humedad es alto, el proceso de combustión se ve dificultado, ya que el vapor producido reduce la temperatura en el área de combustión, disminuye la cantidad de oxígeno disponible y retrasa el momento de ignición. (Klinger *et al.*, 1998) citado por (Klinger *et al.*, 2003).
- **Forma física:** Las muestras pequeñas de madera con bordes afilados, como las astillas, tienden a encenderse más rápidamente que las piezas grandes con bordes redondeados. Esto se debe a que la conducción del calor en las piezas grandes mantiene la superficie por debajo del punto de ignición durante más tiempo. Además, las secciones grandes de madera se deterioran gradualmente, formando una capa de carbón que actúa como barrera, dificultando la transmisión de calor y obstaculizando la liberación de gases inflamables del material que aún

no ha sido afectado por el fuego. (Delgado, 1975) y (JUNAC, 1988), citado por (Klinger et al., 2003).

- **Densidad:** Se ha establecido una relación directa entre el peso específico de la madera y la temperatura de ignición. En general, se ha observado que las especies de madera con baja densidad tienden a ignicionar a temperaturas más bajas en comparación con las especies de alta densidad. (Klinger et al., 1999) citado por (Klinger et al., 2003). El bajo peso específico de la madera facilita su ignición debido a que hay menos masa expuesta al calor, lo que permite una ignición más rápida y fácil. Dos piezas de madera con las mismas dimensiones, pero con diferentes pesos específicos tendrán tiempos de combustión distintos, esto quiere decir que la pieza con mayor peso específico tardara más en consumirse completamente. (JUNAC, 1988) citado por (Klinger et al., 2003).

2.2.2. Algunas consideraciones de la madera con respecto en el sentido del eje

Centro de Trasnferencia Tecnológica (2004), considera que la madera es un material anisotrópico, lo que significa que su comportamiento físico y mecánico varía según la dirección o plano en el que se evalúe en relación con la orientación de sus fibras y anillos de crecimiento. Esto da lugar a resultados diferentes y distintos dependiendo de la dirección o plano considerado.

La madera presenta una resistencia significativamente mayor cuando se somete a tensiones en la dirección longitudinal del árbol, siendo entre 20 y 200 veces más resistente que cuando se somete a tensiones en la dirección transversal. Debido a esta notable diferencia en su comportamiento

estructural, se han definido tres ejes principales para describir su orientación: el eje tangencial, el eje radial y el eje axial o longitudinal.

- El eje tangencial es perpendicular al eje longitudinal de la pieza y tangente a los anillos de crecimiento.
- El eje radial es perpendicular tanto a los anillos de crecimiento como al eje longitudinal.
- El eje longitudinal es paralelo a la dirección de las fibras de la madera y forma un ángulo recto con el plano definido por los ejes tangencial y radial.

Un ejemplo de resistencia en estructuras al fuego es sugerido por (Lp Chile, 2008) citado (Garay R. & Henriquez M., 2010) es un tabique interno compuesto por una escudría de *Pino radiata* de 2 x 3", revestida exteriormente con un tablero de fibrocemento de 15 mm y interiormente con un tablero OSB de 15 mm. En pruebas a escala real, esta estructura resistió 30 minutos antes de colapsar, lo que le otorga un índice F30 según la norma NCh 935.

2.2.3. Tipos de corte en la madera

Según (SERFOR e ITP/CITEmadera, 2022), menciona:

- **Corte o sección tangencial (TG):** La sección tangencial de la madera es la obtenida al cortarla paralelamente al eje longitudinal del tronco y tangencialmente a los anillos de crecimiento. Esta sección es la más comúnmente observada a simple vista para describir las características generales de la madera, como su color, textura, brillo y patrón de veteado.
- **Corte o sección radial (RD):** La sección radial de la madera es la obtenida al cortarla paralelamente al eje longitudinal del tronco y

paralelamente a los radios. Al igual que en la sección tangencial, esta sección se utiliza para observar y definir las características generales de la madera.

- **Corte o sección transversal (TR):** Es aquella sección obtenida al cortarla transversal o perpendicularmente al eje del tronco. En esta sección, utilizando una lupa con 10 aumentos, se pueden observar algunas de las características macroscópicas más significativas de la madera, como la porosidad, el tipo de poros y el tipo de parénquima.

Además de las secciones tangencial y radial, también se puede realizar un corte oblicuo, que se encuentra entre estos dos. En general, estos tres tipos de cortes (tangencial, radial y oblicuo) se clasifican bajo el término de sección o corte longitudinal (LG).

2.2.4. Aplicación de ignífugos

Los ignífugos son sustancias que disminuyen la combustibilidad de la madera y la velocidad de propagación de las llamas. Al descomponerse por el calor, liberan gases incombustibles que se mezclan con los gases producidos por la pirólisis de la madera, reduciendo la intensidad del fuego. La impregnación con ignífugos retarda el aumento de temperatura, disminuye la propagación de la llama y facilita la extinción del fuego. (JUNAC, 1988) citado por (Klinger et al., 2003).

Entre las propiedades típicas del barniz antifuego (INTERPAINTS, 2023) menciona que “el rendimiento práctico del barniz es 31.5 m^2/gal a 2 mm por capa y 19 m^2/gal considerando 40 % de pérdidas. El rendimiento real depende de las condiciones de aplicación y el estado de la superficie”.

Aunque muchos químicos tienen propiedades retardantes del fuego, su uso comercial se ve limitado por factores como el costo, la durabilidad y las características indeseables. Estas limitaciones incluyen la pérdida de eficacia con el tiempo, el impacto en la resistencia física de la madera, la corrosión de metales, la incompatibilidad con adhesivos y pinturas, la higroscopicidad y la toxicidad para los seres vivos. Las sales más comúnmente utilizadas en las fórmulas retardantes de fuego son el fosfato monoamónico y diamónico, el sulfato de amonio, el cloruro de zinc, el tetraborato de sodio y el ácido bórico, que han sido conocidas durante más de 50 años. (JUNAC, 1988) citado por (Klinger et al., 2003).

Recubrimientos retardantes de fuego

Los recubrimientos son una herramienta efectiva para controlar o reducir la propagación del fuego en edificios. Estos recubrimientos contienen materiales que se funden a baja temperatura, lo que evita que el oxígeno reaccione con los materiales subyacentes. Un tipo común de pintura retardadora de fuego contiene materiales que, al calentarse, liberan gases que inflan la pintura y forman una capa aislante celular intumescente, lo que ayuda a prevenir la propagación del fuego, (JUNAC, 1988) citado por (Klinger et al., 2003).

Al aplicar retardantes sobre un material, estos son absorbidos y ocupan el espacio donde normalmente se encontraría el oxígeno, lo que ayuda a detener el fuego y su propagación. Cuando el material tratado con retardante sigue expuesto a la fuente de calor, se consume a un ritmo mucho más lento de lo habitual, lo que facilita la extinción del incendio. (QuimiNet, 2006).

La mayoría de las formulaciones diseñadas para mejorar la resistencia al fuego de la madera contienen productos químicos a base de fósforo, nitrógeno, boro, silicio y otras combinaciones que generan sinergias con estos elementos, (Decorespacio, 2008) citado por (Garay R. & Henriquez M., 2010).

Los ensayos de resistencia al fuego se realizan mediante métodos de combustión a escala real y evalúan el tiempo que resiste una estructura específica, como un tabique cortafuego, construida con diferentes materiales, espesores y composiciones. Estos ensayos pueden incluir o no el uso de productos retardantes de llama, como pinturas, ya que estos son solo una parte de la composición total de la estructura. (Garay R. y Ahumada I., 2008) citado por (Garay R. & Henriquez M., 2010).

Blatem (2018), menciona que un barniz para madera es básicamente una disolución de aceites o resinas que se utiliza principalmente para proteger y preservar las superficies de madera sobre las que se puede distinguir entre dos tipos de barnices:

- **Barnices de origen natural:** están formulados con aceites esenciales o resinas que se obtienen de las plantas y árboles.
- **Barnices sintéticos**: se obtienen de la mezcla de elementos de origen químico.

Estos productos cuidan y protegen cualquier superficie de madera, también aporta mayor resistencia física sobre todo frente a los agentes atmosféricos. Los principales usos del barniz para madera son los siguientes Blatem (2018):

- Renovar y restaurar muebles afectados por el paso del tiempo.
- Embellecer y abrillantar las superficies de los muebles viejos o antiguos.

- Función protectora frente a fenómenos meteorológicos, así como frente al ataque de plagas, insectos u hongos causante de graves deterioros en la madera.

Descripción del barniz retardador del fuego

Según Ficha Técnica (InterPaints, 2014):

- Nombre del producto : BARNIZ RETARDADOR DE FUEGO
- Uso/ descripción del producto: Recubrimiento Retardante del Fuego.
- Nombre de la empresa : INTERPAINTS S.A.C.

Composición

- Denominación Química: Pintura a base de resina Alquídica-Modificada
- Vehículo : 64.34 % en peso
- Pigmentos : 1.09 % en peso
- Solventes : 34.57 % en peso

Propiedades físicas

- Estado Físico : Líquido viscoso
- Color : Incoloro
- Olor : Irritante
- Solubilidad en agua : Insoluble
- Punto de inflamación : 35 °C
- Densidad : 3.65 Kg. / Gln.
- Gravedad Específica : 0.964
- Sólidos en volumen : 36.0 %
- PVC : 1.67 %

Tipos de barnices para madera

Según (Blatem, 2018), existen diferentes tipos de barnices para madera en función a su uso:

- **Barnices para madera interior. -** El mobiliario de madera interior suele conservarse mejor que el exterior, también necesita cuidados y mantenimiento con el tiempo. Es aquí donde entran en juego los barnices para madera interior, diseñados para proteger, restaurar y dar brillo a la madera, manteniéndola en óptimas condiciones.

- **Barniz para madera exterior. -** Los barnices para madera exterior tienen características específicas que los distinguen de otros tipos de barnices. En particular, destacan por su capacidad para proteger la madera de los agentes atmosféricos como la lluvia, la humedad y los rayos UV. Sin embargo, es importante destacar que algunos barnices pueden ser utilizados tanto en interiores como en exteriores, ya que comparten características comunes.

- **Barniz para tratamiento del suelo. -** Los suelos de madera necesitan un cuidado especial y, para eso, existen tratamientos específicos. Los barnices para suelos de madera son especialmente resistentes y duraderos, fáciles de aplicar y rápidos de secar. Estos productos no solo mejoran la apariencia del suelo, sino que también permiten mantenerlo en óptimas condiciones durante un período prolongado.

2.2.5. Especies forestales analizadas según densidad

Clasificación taxonómica del shihuahuaco

Según (Tropicos, s.f.) lo clasifica:

- Familia : Fabaceae
- Nombre científico : *Dipteryx micrantha* Harms
- Nombre común : Shihuahuaco, charapilla, cumarú, Kumarut.
- Sinónimos : *Coumarouna micrantha* (Harms) Ducke

Descripción botánica

Árbol de hasta 20 y 40 m de altura con 0.5 y 1.5 m de diámetro, de aletas grandes de hasta 2 m de altura, de copa amplia, corteza externa de color marrón claro a grisáceo o verdusco, de ritidoma que se desprenden aisladamente dejando huellas impresas “martillado”, las lenticelas de 2-4 mm de diámetro, corteza interna granular, color amarillo pálido, con gránulos de color blanquecino y amarillo oscuro. Esta especie es de buena calidad, extraordinariamente dura y pesada. Es apta para el torneado, tiene buena durabilidad y es resistente a la humedad. Se elaboran parquet, elementos de construcción que requieren mucha resistencia y perduración, tales como puntales y vigas, mangos de herramientas, postes y chapas decorativas (OSINFOR e INIA, 2017).

Características generales

Según (SERFOR e ITP/CITEmadera, 2022):

- Color: En condición seca al aire, la albura es color blanco cremoso y el duramen color marrón rojizo.
- Olor: No distintivo.
- Sabor: No distintivo.
- Brillo: Medio.
- Veteado: Arcos superpuestos en la sección tangencial y satinado en la sección radial y oblicua.

Características macroscópicas

- Porosidad: Difusa.
- Poros: Solitarios de forma redonda y múltiples radiales de 2 a 3 poros, visibles con lupa de 10x.
- Parénquima: Aliforme y aliforme confluente, perceptible a simple vista.
- Radios: En la sección transversal son finos y numerosos, y en la sección tangencial son estratificados, visibles con lupa de 10x en ambas secciones.
- Inclusiones: Sílice en los vasos de la sección longitudinal, visible a simple vista en forma de puntos blancos.

Características tecnológicas

Según (IIAP, s.f.), el shihuahuaco es una madera muy pesada, que presenta contracciones lineales bajas y la contracción volumétrica es estable. Para la resistencia mecánica se sitúa en la categoría alta.

Propiedades físicas

- Densidad básica : 0.87 g/cm^3.
- Contracción tangencial : 9.10 %.
- Contracción radial : 5.50 %.
- Contracción volumétrica : 15.00 %.
- Relación T/R : 1.60

Propiedades mecánicas

- Módulo de elasticidad en flexión : kg/cm^2.
- Módulo de rotura en flexión : 1,286 kg/cm^2.
- Compresión paralela (RM) : 672 kg/cm^2.
- Compresión perpendicular (ELP) : 150 kg/cm^2.

- Corte paralelo a las fibras : 145 kg/cm^2.
- Dureza en los lados : 1,353 kg/cm^2.
- Tenacidad (resistencia al choque) : 6.2 kg/m.

Clasificación taxonómica del huayruro

Según (Loureiro A. y Rodrigues W., 1975):

- Familia : Fabaceae.
- Nombre Científico : *Swartzia recurva* Poepp.
- Nombre Común : Huayruro.
- Sinónimo : *Swartzia bracteata* Ducke, *Swartzia arenicola* Ducke, *Swartzia aptera var. recurva* (Poepp.) Ducke, *Tounatea recurva* (Poepp.) Taub y *Tunatea recurva* (Poepp.) Kuntze (Tropicos, s.f.).

Descripción botánica

Muy madera muy bonita duro, muy pesado (1,00 g/cm^3); duramen marrón oscuro a marrón violáceo, algunas veces la albura se entrelaza con el duramen, produciendo diseños curiosos; albura propiamente dicha es de color amarillo claro; grano regular; textura media; olor y sabor indistintos, fácil de trabajar, recibe un buen acabado con pulido atractivo (Loureiro A. y Rodrigues W., 1975).

Características generales

Según (SERFOR e ITP/CITEmadera, 2022):

- Color: En condición seca al aire, la albura es color blanco cremoso y el duramen color marrón rojizo.
- Olor: No distintivo.
- Sabor: No distintivo.

- Brillo: Medio.
- Veteado: Arcos superpuestos en la sección tangencial y satinado en la sección radial y oblicua.

Características macroscópicas

- Porosidad: Difusa.
- Poros: Solitarios de forma redonda y múltiples radiales de 2 a 3 poros, visibles con lupa de 10x.
- Parénquima: Aliforme y aliforme confluente, perceptible a simple vista.
- Radios: En la sección transversal son finos y numerosos, y en la sección tangencial son estratificados, visibles con lupa de 10x en ambas secciones.
- Inclusiones: Sílice en los vasos de la sección longitudinal, visible a simple vista en forma de puntos blancos.

Clasificación taxonómica de la panguana

Según (SERFOR e ITP/CITEmadera, 2022) lo clasifica:

- Familia : Moraceae
- Nombre científico : *Brosimum potabil*e Ducke
- Nombre común : Panguana
- Sinónimo : *Piratinera potabilis* Ducke, *Brosimum myristicoides* Standl. (WFO, 2024).

Características generales

- Color: En condición seca al aire, presenta un color blanco cremoso, sin diferencia marcada entre albura y duramen.
- Olor: No distintivo.

- Sabor: No distintivo.
- Brillo: Medio.
- Veteado: Arcos superpuestos poco perceptibles en la sección tangencial y jaspeado en la sección radial.

Características macroscópicas

- Porosidad: Difusa.
- Vasos/Poros: Solitarios de sección redonda y múltiples radiales de 2 a 3 poros en similar, proporción, visibles a simple vista.
- Parénquima: Aliforme y aliforme confluente, perceptible a simple vista.
- Radios: En la sección transversal son medianos, visibles a simple vista y en la sección tangencial son no estratificados, visibles con lupa de 10x.
- Inclusiones: Tilosis en los poros, visibles con lupa de 10x en la sección transversal.

2.3. Definición de términos básicos

- **Carbonización**: Es el proceso por el cual se convierte en carbono o un residuo carbonoso a través de la pirólisis o destilación destructiva. Desde un punto de vista objetivo, la carbonización requiere una temperatura superior a 280°C, liberando energía en una reacción exotérmica. El proceso continúa hasta que se obtiene un residuo carbonizado llamado carbón vegetal, alcanzando una temperatura máxima de aproximadamente 400°C, a menos que se aporte más calor externo. (AITIM, 2018).
- **Ignífugo**: Los materiales ignífugos son aquellos que presentan una

mayor resistencia al fuego. La palabra "ignífugo" proviene del latín, donde "ignis" significa "fuego" y el sufijo "-fugo" deriva del verbo "fugare", que significa "espantar". Por lo tanto, el término "ignífugo" se traduce literalmente como "que espanta el fuego"., (TEXFIRE, 2024).

- **Densidad básica**: La relación peso/volumen es una medida que compara el peso mínimo de un material (seco en estufa a 105-110°C) con su volumen en estado verde, es decir, tal como se encuentra en el árbol después de ser talado. Esta relación es ampliamente utilizada en la industria forestal para determinar la cantidad de masa seca presente en un volumen verde medido en una plantación. (Núñez, 2007) .

- **Ignición**: Es el proceso que inicia la combustión y depende de factores como la densidad, tamaño, forma y humedad de los materiales, así como la velocidad y intensidad del calentamiento, y la disponibilidad y velocidad del aire. En el caso de la madera, la ignición ocurre aproximadamente entre 230-270°C. (AITIM, 2018).
- **Barniz**: Es una solución que contiene sustancias resinosas disueltas en un disolvente volátil, que se evapora rápidamente al aire, formando una capa protectora. Se utiliza para proteger superficies, como madera y obras de arte, de la abrasión, el agua y los agentes atmosféricos. Los barnices pueden ser de origen natural, derivados de resinas y aceites esenciales de plantas, o sintéticos de formulación moderna. Además de su función protectora, los barnices también tienen un propósito decorativo, ya que se les pueden agregar tintes para cambiar su color. (García & Armiñana, 2011).
- **Combustión**: La combustión es una reacción química que ocurre

cuando un elemento combustible (generalmente materiales orgánicos que contienen carbono e hidrógeno) se combina con oxígeno, liberando calor y luz. Esta reacción exotérmica produce energía térmica y luminosa, y puede generar productos como monóxido de carbono, dióxido de carbono, agua y cenizas. La combustión requiere alcanzar una temperatura mínima de ignición para iniciarse, y el proceso de destrucción de materiales a través de la combustión se conoce como incineración. (QUIMICA, 2024).

- **Pirólisis**: Es un proceso de degradación térmica que ocurre cuando una sustancia se descompone por calor en ausencia de oxígeno, evitando así las reacciones de combustión. En este proceso, la sustancia se descompone únicamente por la acción del calor. (MITECO, 2024).
- **Alquitrán**: Es un líquido espeso y oscuro con un olor intenso que se produce mediante la destilación de materiales como maderas resinosas, carbones, petróleo, pizarras y otros. (RAE, 2024).
- **Incandescencia**: El término en cuestión se refiere a algo que se vuelve rojo o blanco debido al calor. Sus sinónimos incluyen palabras como encendido, candente, ígneo y ardiente, que describen un estado de calor intenso. Por otro lado, sus antónimos son palabras como frío o apagado, que describen un estado de ausencia de calor. (DEFINICIÓN, 2024).
- **Anisotrópico**: En física, el término "anisótropo" se utiliza para describir un cuerpo o sustancia que presenta propiedades físicas distintas según la dirección en la que se mide. Esto contrasta con los elementos "isótropos", que tienen propiedades físicas idénticas en todas las direcciones. (DEFINICIÓN, 2024).

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Método de investigación

El método de la investigación fue experimental, por contar con dos variables como densidad de la madera y gramajes de barniz planteados por el investigador, además se aplicó la investigación descriptiva, que consistió en observar y determinar el efecto del barniz con retardador con tres gramajes en maderas de densidad muy alta, alta y media. Para determinar la resistencia al fuego se utilizó barniz con retardador, se hizo ensayos de ignición comparando con una probeta testigos.

3.2. Población y muestra

3.2.1. Población

La población estuvo constituida por 90 probetas de tres especies forestales de diferentes densidades básicas, las cuales tuvieron una dimensión de 2 cm x 10 cm x 10 cm.

3.2.2. Muestra

Las muestras fueron elegidas al azar, constituidos por 72 unidades experimentales. Las probetas elegidas fueron 24 por especie, como de *Dipteryx micrantha* Harms (Shihuahuaco) de densidad básica muy alta (0.87 g/cm^3), *Swartzia recurva* Poepp (Huayruro) con densidad alta (0.60 g/cm^3) y *Brosimum potabile* Ducke (Panguana) con densidad básica media (0.49 g/cm^3).

3.3. Procedimiento de recolección de datos

3.3.1. Ubicación del área de estudio

Las instalaciones donde se realizaron los ensayos y evaluación fueron en el Laboratorio de Suelos de la carrera de Construcción Civil del Instituto de Educación Superior Tecnológico Público “Atalaya”, ubicada en el Jr. Pascual Alegre/caobas N°. S/n (Mz 112), en el distrito de Raymondi, provincia de Atalaya, departamento de Ucayali. Superficie total: equivalente a 24 021,72 m^2.

Figura 1.

Mapa de ubicación del I.E.S.T.P.A



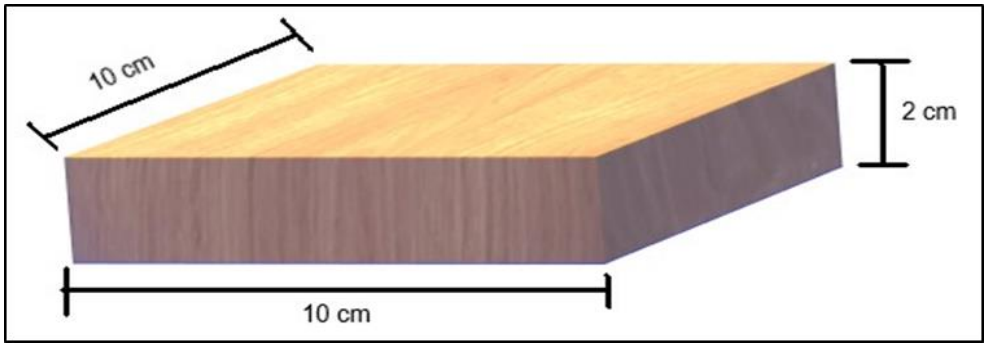
3.3.2. Obtención de las probetas

Las probetas fueron obtenidas del proyecto titulado “Caracterización anatómica de especies forestales de la Amazonia Peruana”, para el levantamiento de información en las Unidades de Manejo de la PC 11 y 12, de la Comunidad Nativa Mapalja, provincia de Atalaya, departamento de Ucayali, realizado por el Programa “ Contribución a las Metas Ambientales del Perú” (ProAmbiente II), con permiso de coleta según la RDG N° 000571-2021-

DGGSPFFS, han sido DETERMINADAS en este centro de investigación Herbario Forestal de Pucallpa- HFP., las probetas se dimensionaron y secaron a vapor en el CITE FORESTAL, ubicado en la Carretera Federico Basadre Km 4.200; Pucallpa – Ucayali, las dimensiones de las probetas fueron: 2 x 10 x 10 cm.

Figura 2.

Dimensiones de la probeta



3.3.3. Clasificación y codificación de las probetas

Para el ensayo de combustión de la madera, se utilizó tres especies de diferentes densidades (Muy alta, alta y media), entre ellas tenemos: *Dipteryx micrantha* (Shihuahuaco), *Swartzia recurva* Poepp (Huayruro) y *Brosimum potabile* Ducke (Panguana) Se codificarán según la especie o densidad (Panguana: P; Huayruro: H y Shihuahuaco: SH), gramaje por capas (0, 1, 2 y 3) y número de repeticiones (1 al 6).

3.3.4. Aplicación del barniz con retardador

Consistió en la aplicación del barniz con retardante al fuego a cada probeta de madera de las tres densidades, con gramajes respectivos de 0, 1, 2 y 3 capas, con el uso de una brocha manual. Para aplicar el barniz entre capa y capa, fue necesario primeramente un secado de 24 horas, como lo estipula

la norma ASTM- 1640.

- Cálculo del área de la probeta para la aplicación del barniz con retardador.

  Datos:

  1 galón de DD Ignifugo rinde 24 m^2

  Medida de la probeta 10 cm X 10 cm X 2 cm

  Área de la probeta en m^2

  Área del cuadrado = L^2

  Área cuadrada = 0.1 m x 0.1 m = 0.01 m^2

  Área = 0.01 m^2 x 2 caras = 0.02 m^2

  Área del rectangular = L x A

  Área del rectangular = 0.1 m x 0.02 m = 0.002 m^2

  Área = 0.002 m2 x 4 caras = 0.008m^2

  Área total de la probeta = 0.02 m^2 + 0.008 m^2 = 0.028 m^2

- Cálculo de los gramos necesarios para aplicar en un área de 0.1 m^2

  Por regla de tres simples

  24 m^2 --------- 1gal

  0.028 m^2 --------- X

  X = 0.001167 gal

  3785.4 g ---------- 1 gal

  X ---------- 0.001167 gal

  X = 4.42 g de barniz

  X = 4.42 g/0.028 m^2 = 157.86 g/m^2

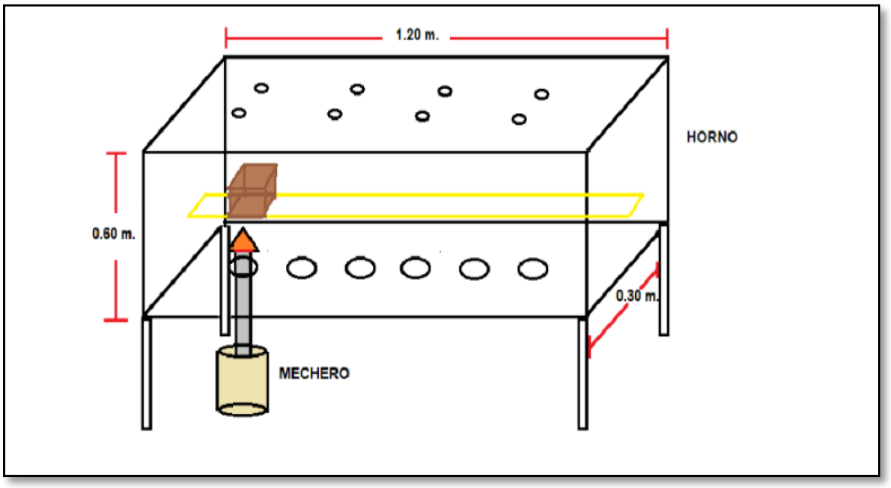
Por tanto, una capa de barniz con retardante al fuego equivale a 4.42 gramos, que recubre un área de 0.028 m^2, equivalente al área exterior de una probeta. El gramaje equivale a 157.86 g/m^2.

3.3.5. Ensayo de combustión de las probetas

Se incineraron cada probeta, según el tratamiento y según el número de repeticiones, mediante un prototipo de horno que utilizó petróleo como combustible (fabricado artesanalmente). En cada probeta se midió el tiempo de combustión en minutos.

Figura 3.

Prototipo de horno artesanal



3.3.6. Diseño experimental

El diseño estadístico utilizado fue el diseño estadístico completamente al azar con arreglo factorial de 3 x 4, es decir factor 1: densidad de la madera con 3 niveles (densidad muy alta, alta y media) y factor 2: gramajes de barniz con retardante al fuego con 4 niveles (sin barniz, 1 capa de barniz, 2 capas de barniz y 3 capas de barniz), resultando un total de 12 tratamientos.

T1 = Madera de muy alta densidad sin capa de barniz (testigo).

T2 = Madera de muy alta densidad con 1 capa de barniz con retardante.

T3 = Madera de muy alta densidad con 2 capas de barniz con retardante.

T4 = Madera de muy alta densidad con 3 capas de barniz con retardante.

T5 = Madera de alta densidad sin capa de barniz con retardante.

T6 = Madera de alta densidad con 1 capa de barniz con retardante.

T7 = Madera de alta densidad con 2 capas de barniz con retardante.

T8 = Madera de alta densidad con 3 capas de barniz con retardante.

T9 = Madera de media densidad sin capa de barniz (testigo)

T10 = Madera de media densidad con 1 capa de barniz con retardante.

T11 = Madera de media densidad con 2 capas de barniz con retardante

T12 = Madera de media densidad con 3 capas de barniz con retardante

Cada tratamiento se realizó con 6 repeticiones, sumando un total de 72 unidades experimentales, todos sometidos a ensayo de ignición para determinar la resistencia al fuego del barniz con retardador del fuego.

3.4. Técnicas e instrumentos para la recolección de datos

3.4.1. Técnicas

Para la recolección de información de la investigación fue necesaria la utilización de la técnica de observación directa de la cuantificación y medición de características, como el tiempo de ignición, temperatura, el cual consistió en tomar dichas medidas a las probetas.

3.4.2. Instrumentos

Los instrumentos para la recolección de datos fueron libretas de apunte, en el cual se anotaban los datos observados y medidos de cada probeta. Se usó el formato previamente pre-establecido. como se muestra en la tabla 1.

Tabla 1.

Recolección de datos

Código de probeta	Tratamiento	Repetición	Densidad	Número de capa (gramaje)	Tiempo de combustión	Observación
P.1.1	T1	1	Media	0	-	-
P.1.2		2	Media	0	-	-
P.1.3		3	Media	0	-	-
P.1.4		4	Media	0	-	-
P.1.5		5	Media	0	-	-
P.1.6		6	Media	0	-	-
P.2.1	T2	1	Media	1	-	-
P.2.2		2	Media	1	-	-
P.2.3		3	Media	1	-	-
P.2.4		4	Media	1	-	-
P.2.5		5	Media	1	-	-
P.2.6		6	Media	1	-	-
P.3.1	T3	1	Media	2	-	-
…	…	…	…	…	…	…
SH.4.6	T12	6	Muy alta	3	-	-

3.5. Procesamiento para la recolección de datos.

Los datos se recopilaron cuidadosamente, para luego procesarlos en el programa Microsoft Excel, desde la organización y codificación. Se hizo un análisis descriptivo y, posteriormente se realizó el análisis de varianza (ANVA) para determinar el efecto de los gramajes del barniz con retardador de fuego en la combustión de maderas de diferentes densidades.

3.6. Tratamiento de datos

El tratamiento de datos consistió en realizar el análisis de varianza (ANVA) de dos factores, teniendo como factores: densidad básica de la madera con tres niveles y gramajes de barniz con retardante del fuego con cuatro niveles, cuando existió diferencias significativas entre los tratamientos se utilizó la prueba de DUNNETT.

Así mismo se realizó el análisis de correlación y regresión de las siguientes variables:

- Relación entre la densidad básica de la madera y el tiempo de combustión.
- Relación entre los gramajes del barniz con retardante y el tiempo de combustión de la madera.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSION

4.1. Efecto del barniz con retardador de fuego con tres gramajes en tres maderas de diferentes densidades.

La tabla 2 muestra el tiempo de combustión promedio de las probetas de madera de las tres especies forestales expresados en minutos, en función a su densidad básica y a los tres gramajes del barniz con retardador de fuego

Tabla 2.

Tiempos de combustión en minutos de las probetas según su gramaje y densidad

Especies	Densidad	Gramaje (N° de Capas de barniz)				Promedio
		0	1	2	3	
Panguana	Media	47.7	71.7	72.2	124.5	79
Huayruro	Alta	371.2	958.5	606.7	484.8	605
Shihuahuaco	Muy alta	1065.5	1324.0	794.3	811.7	999
Promedios		494.78	784.72	491.06	473.67	

Con la finalidad de esclarecer si existe diferencias significativas en el tiempo de combustión de las probetas, debidos a la densidad básica y a los gramajes del barniz con retardador del fuego, se realizó un análisis de varianza de dos factores, cuyo resumen se detalla en la tabla 3.

Tabla 3.

Análisis de variancia de dos factores del tiempo de combustión de la madera.

Fuente de Variación	GL	SC	CM	F_{obs}	F_{tab} 0.01	Signi.
Entre densidades	2	10224486	5112243	636.7	4.977	**
Entre gramajes	3	1205214	401738	50.04	4.126	**

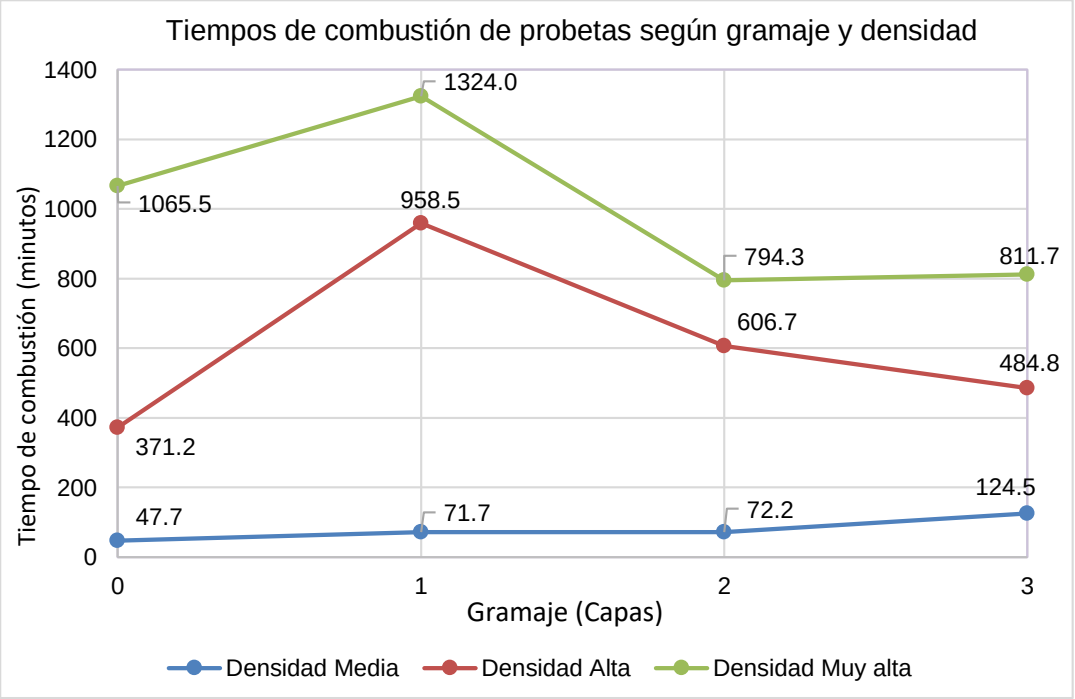
Inte. densidad x gramajes	6	1100374	183396	22.84	3.119	**
Error	60	481730	8029			
Total	71					

Fobs: Valor observado de Fisher

El análisis de la varianza indica que existe una interacción altamente significativa entre la densidad básica de la madera y los gramajes del barniz con retardador de fuego, lo que indica que las densidades de las maderas tienen comportamiento diferente frente a los gramajes del barniz retardador de fuego (figura 4). Esta situación no permite extraer ninguna conclusión, por lo tanto, se analizó por densidades de la madera, ejecutando tres análisis de varianza de un factor.

Figura 4.

Gráfico de la interacción de las densidades de la madera y gramaje del barniz madera de densidad media - Brosimum potabile (Panguana)



4.1.1. Efecto del barniz con retardador de fuego con tres gramajes en madera de densidad media de *Brosimum potabile* (Panguana).

En la tabla 4 se observa el resumen de los datos analizados de los tiempos de combustión de las probetas de madera densidad media como *Brosimum potabile* (Panguana), estos datos fueron usados para la realización del Análisis de varianza de un factor ANVA1, cuyo resumen se muestra en la tabla 5.

Tabla 4.

Resumen de los datos de tiempos de combustión de las probetas de densidad media

	Densidad Media			
Gramaje (N° de capas)	0	1	2	3
N° de observaciones	6	6	6	6
Tiempo de combustión Promedio (min)	47.7	71.7	72.2	124.5
Desviación estándar (±) min.	9.1	15.0	7.4	35.3

Tabla 5.

Análisis de variancia de un factor (Gramajes) en probetas de densidad media

Origen de las variaciones	SC	GL	CM	F_{os}	$F_{t\ 0.01}$	Signif.
Entre gramajes	18915	3	6305	15.67	4.94	**
Dentro de los gramajes	8047	20	402.35			
Total	26962	23				

F_{obs}*: Valor observado de Fisher*

La tabla 5 pone de manifiesto que existen diferencias altamente significativas entre los tiempos de combustión de las probetas de madera por gramaje de barniz con retardador del fuego.

Para determinar entre que gramajes se encuentra las diferencias significativas del tiempo de combustión, se realizó la prueba de Dunnett.

Tabla 6.

Prueba de Dunnett de tiempo de combustión por gramaje

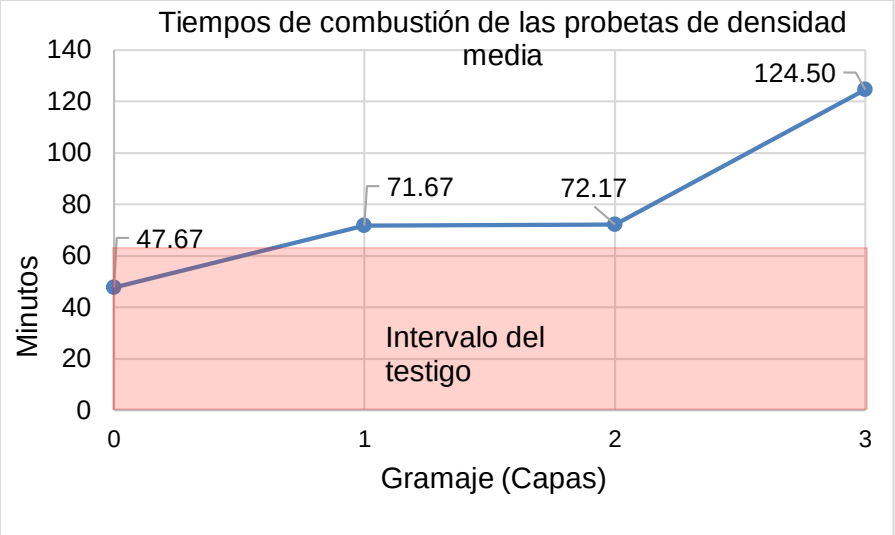
Tratamiento	Tiempo de combustión X (min.)	Observación
Gramaje 3	124.5	Superior al testigo
Testigo	47.7	Intervalo 75.2 – 20.1
Gramaje 2	72.2	Igual al testigo
Gramaje 1	71.7	Igual al testigo

De la tabla 6 se deduce que las probetas de *Brosimum potabile* (Panguana) de densidad media, barnizado con gramaje 3 (tres capas) proporciona mayor tiempo de retardo en la combustión con 124.5 minutos con relación al testigo (sin barniz retardante del fuego) que solo presento un tiempo de 47.7 minutos de combustión total; las probetas con gramajes 1 y 2, presentan tiempos de combustión similar al testigo.

El intervalo del testigo y los valores que recaen en él se puede observar con mayor facilidad en la figura 5, el cual es una franja de color rosado; se ve en el cómo el tiempo del gramaje 3 está por encima de dicho intervalo.

Figura 5

Tiempos de combustión de las probetas de densidad media



Garay R. & Henriquez M (2010) encontraron para maderas de densidad media (*Pinus radiata*) diferencias significativas en pérdida de peso e índice de carbonización para todos los tableros con retardante de llama al compararlos con los tableros sin protección. Entre tableros estructurales: contrachapados y OSB, el contrachapado con retardante de fuego fue el que presentó un mejor comportamiento frente al fuego, y HB presentó el comportamiento más deficiente. Demostraron que una pintura retardante de fuego, resulta efectiva en la protección de los tableros estudiados al comparar con tableros sin protección.

4.1.2. Efecto del barniz con retardador de fuego con tres gramajes en madera de densidad alta - *Swartzia recurva* (Huayruro).

Tabla 7.

Resumen de los datos de tiempos de combustión de las probetas de densidad alta.

	Densidad Alta			
Gramaje (N° de capas)	0	1	2	3
N° de observaciones	6	6	6	6
Tiempo de combustión promedio (min)	371.2	958.5	606.7	484.8
Desviación estándar (±) (min.)	6.5	186.4	128.1	105.7

En la tabla 7 se observa el resumen de los datos analizados de los tiempos de combustión de las probetas de madera de *Swartzia recurva* (Huayruro) de densidad alta, estos datos fueron usados para la realización del Análisis de varianza de un factor ANVA1, cuyo resumen se muestra en la tabla 8.

Tabla 8.

Análisis de variancia de un factor (Gramajes) en probetas de densidad alta

Origen de las variaciones	SC	GL	CM	F_{obs}	$F_{t\ 0.01}$	Signif.
Entre gramajes	1164496	3	388165	24.90	4.94	**
Dentro de los gramajes	311749	20	15587			
Total	1476245	23				

Fobs: Valor observado de Fisher

La tabla 8 pone de manifiesto que existen diferencias altamente significativas entre los tiempos de combustión de las probetas de madera de *Swartzia recurva* (Huayruro) por gramaje de barniz con retardador del fuego.

Para determinar entre que gramajes se encuentra las diferencias del tiempo de combustión, se realizó la prueba de Dunnett.

Tabla 9.

Prueba de Dunnett de tiempo de combustión por gramaje

Tratamiento	Tiempo de combustión X (min.)	Observación
Gramaje 1	958.5	Superior al testigo
Gramaje 2	606.7	Superior al testigo

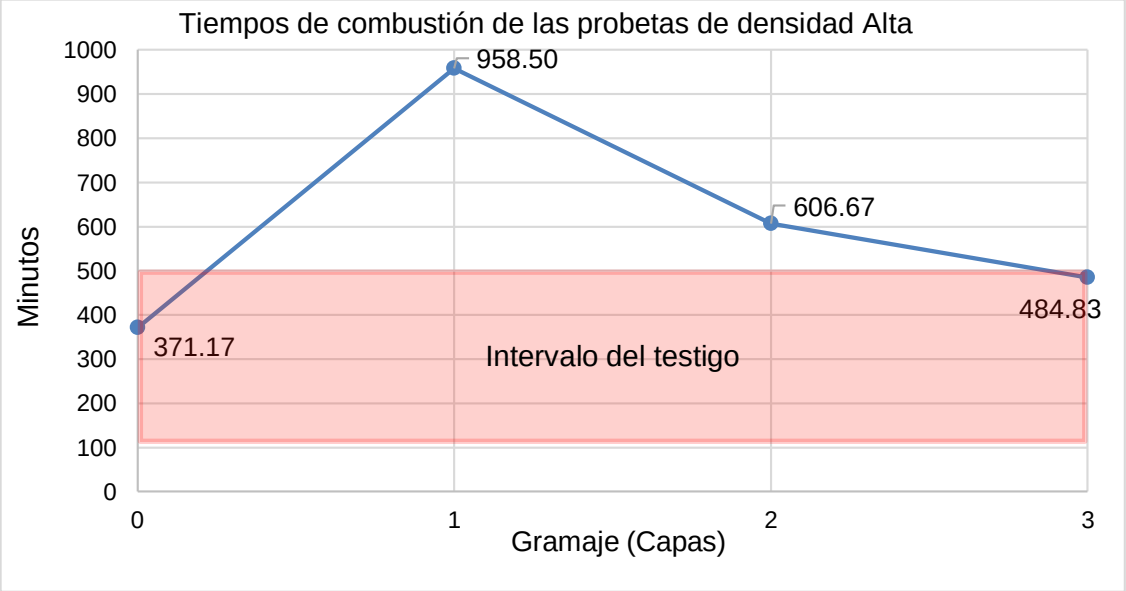
Testigo	371.2	Intervalo 542.7 – 199.6
Gramaje 3	484.8	Igual al testigo

De la tabla 9 se deduce que las probetas de densidad alta - *Swartzia recurva* (Huayruro) con barniz con gramaje 1 y 2 (uno y dos capas) proporciona mayor tiempo de retardo en la combustión (958.5 y 606.7 minutos) con relación al testigo (sin barniz retardante del fuego) que solo presenta 371.2 minutos de combustión total; la probeta con gramaje 3, presenta un tiempo de combustión similar al testigo.

El intervalo del testigo y los valores que recaen en él se puede observar con mayor facilidad en la figura 6, el cual es una franja de color rosado; se ve en el cómo los tiempos del gramaje 1 y 2 están por encima de dicho intervalo.

Figura 6.

Tiempos de combustión de las probetas de densidad Alta



De igual manera (Garcia J., 2015), al analizar muestras de madera de dos especies de pino diferentes, pino Laricio y pino Silvestre, impregnadas con diferentes soluciones para posteriormente ensayar su comportamiento frente a

la reacción a la combustión, concluye que en todas las soluciones utilizadas obtuvo una mejora sensible del comportamiento de la madera, tanto en las muestras de pino laricio, como las muestras de pino Silvestre.

4.1.3. Efecto del barniz con retardador de fuego con tres gramajes en madera de densidad muy alta - *Dipteryx micrantha* (Shihuahuaco).

Tabla 10.

Resumen de los datos de tiempos de combustión de las probetas de madera de densidad muy alta

	Densidad Muy Alta			
Gramaje (N° de capas)	0	1	2	3
N° de observaciones	6	6	6	6
Tiempo de combustión promedio (min)	1065.50	1324.0	794.33	811.67
Desviación estándar (±) (min)	35.38	28.56	89.71	149.24

En la tabla 10 se observa el resumen de los datos analizados de los tiempos de combustión de las probetas de madera de densidad muy alta *Dipteryx micrantha* (Shihuahuaco), estos datos fueron usados para la realización del Análisis de varianza de un factor ANVA1, cuyo resumen se muestra en la tabla 11.

Tabla 11.

Análisis de variancia de un factor (Gramajes) en probetas de densidad muy alta

Origen de las variaciones	SC	GL	CM	F_{obs}	$F_{t\ 0.01}$	Signif.
Entre gramajes	1122176	3	374059	46.20	4.94	**
Dentro de los gramajes	161934	20	8097			
Total	1284111	23				

Fobs: Valor observado de Fisher

La tabla 11 pone de manifiesto que existen diferencias altamente significativas entre los tiempos de combustión de las probetas de madera de *Dipteryx micrantha* (Shihuahuaco), por gramaje de barniz con retardador del fuego.

Para determinar entre que gramajes se encuentra las diferencias del tiempo de combustión, se realizó la prueba de Dunnett.

Tabla 12.

Prueba de Dunnett de tiempo de combustión por gramaje

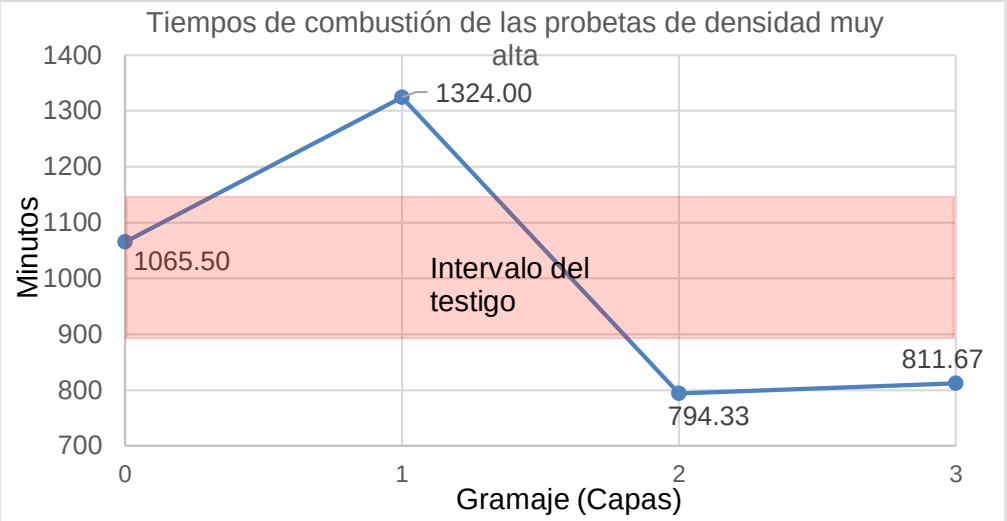
Tratamiento	Tiempo de combustión X (min.)	Observación
Gramaje 1	1324.0	Superior al testigo
Testigo	1065.5	Intervalo 1189.1 – 941.8
Gramaje 3	811.7	Inferior al testigo
Gramaje 2	794.3	Inferior al testigo

De la tabla 12 se deduce que las probetas de densidad muy alta *Dipteryx micrantha* (Shihuahuaco), con barniz con gramaje 1 (una capa) proporciona mayor tiempo de retardo en la combustión de1324.0 minutos, con relación al testigo (sin barniz retardante del fuego) que solo presenta 1065.5 minutos de combustión total; las probetas con gramajes 3 y 2, presentan tiempos de combustión inferiores al testigo, de 811.7 y 794.3 minutos respectivamente.

El intervalo del testigo y los valores que recaen fuera de él se pueden observar con mayor facilidad en la figura 7, el cual es una franja de color rosado; se ve en el cómo el tiempo del gramaje 1 está por encima de dicho intervalo y de gramaje 2 y 3 por debajo.

Figura 7.

Tiempos de combustión de las probetas de densidad muy alta



Concordando con (Isábal C., 2015) analizó las posibles mejoras del comportamiento de la madera frente al fuego mediante la impregnación con diferentes productos. Seleccionó tres especies de madera: el pino silvestre, el pino laricio y el haya; y seleccionó los productos con los que realizó la impregnación: sulfato de magnesio hidratado (Epsomita) y borato de sodio hidratado (Neobor). Realizó los ensayos de caracterización térmica y comportamiento frente al fuego y llegó a la conclusión de que la impregnación, tanto con Epsomita como con Neobor, mejora el comportamiento de las maderas frente al fuego, destacando que las muestras impregnadas con Epsomita presentan una mayor cantidad de producto en su interior y que el pino laricio presenta mejores resultados tanto en cantidad de producto impregnado como en los ensayos de comportamiento frente al fuego.

4.2. Relación entre la densidad básica de la madera y el tiempo de combustión con barniz retardante del fuego

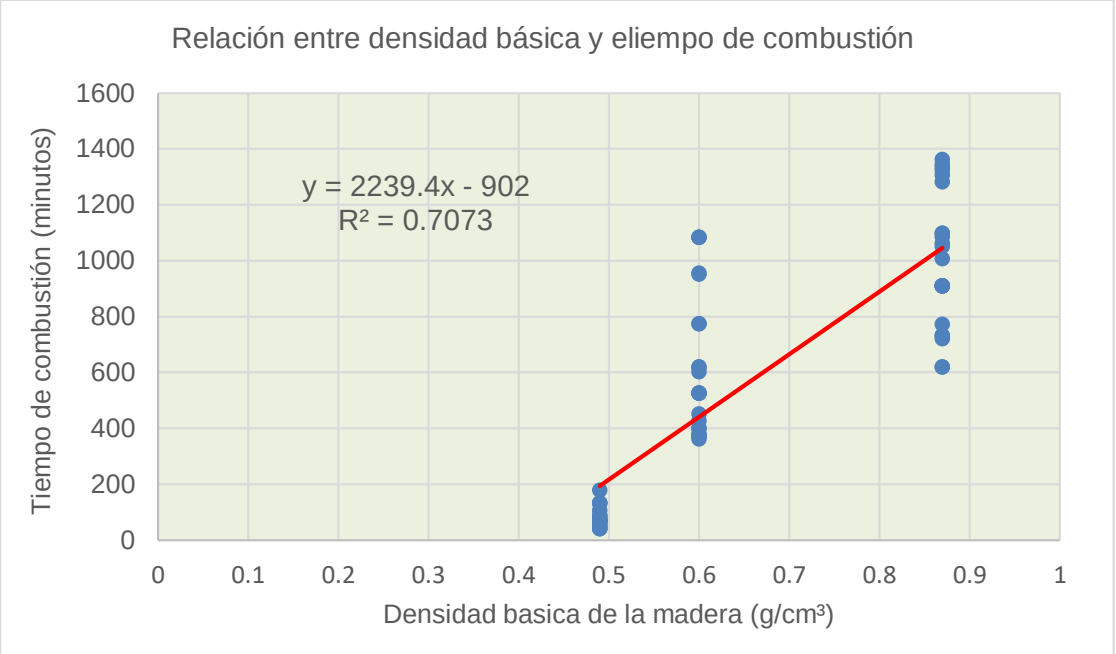
Tabla 13.

Resumen del análisis de relación y regresión de la densidad básica y el tiempo de combustión de la madera con barniz retardante del fuego

Variables	r	r^2x100	Ecuación	$r_{critico}$	Signif.
Densidad básica Vs. tiempo de combustión	0.84	70.73	Y = 2239.4X - 902	0.537	**

Figura 8.

Representación gráfica de la relación de la densidad básica de la madera y el tiempo de combustión con barniz retardante del fuego



La tabla 13 y figura 8 muestran el análisis de correlación entre la densidad básica y el tiempo de combustión de la madera y se observa que la intensidad de asociación es altamente significativa, es positiva, cuyo valor

fue de r = 0.841. El coeficiente de determinación $r^2 \times 100$ calculado, indica que la densidad básica de la madera influye en un 70.73 % en el tiempo de combustión, la diferencia de 29.27 % ha sido influenciada por otros factores no definidos, los cuales podrían ser la humedad de las muestras, el gramaje de barniz u otros. Esta relación significa que la densidad básica de la madera tiene mucha influencia en el tiempo de combustión.

También en la figura 8 y tabla 13 se muestran el análisis de regresión lineal simple entre la densidad básica de la madera y el tiempo de combustión, observándose un coeficiente de regresión de 2239.4 minutos por cada 1 g/cm³, equivalente a 223.9 minutos por cada 0.1 g/cm³, lo que equivale a mencionar que cuando la densidad básica de la madera se incrementa en 0.1 g/cm³, el tiempo de combustión también se incrementa en 223.9 minutos.

La ecuación lineal del tiempo de combustión (T) en función de la densidad básica de la madera (Db) quedo expresada de la siguiente manera:

$$T = 2239.4Db - 902$$

4.3 Relación entre el gramaje de barniz con retardador de fuego y el tiempo de combustión de la madera

Tabla 14.

Resumen del análisis de correlación y regresión del gramaje del barniz con retardante del fuego y el tiempo de combustión de la madera

	R	r^2x100	Ecuación	$r_{critico}$	Signif.
Gramaje del barniz Vs. tiempo de combustión	0.09	0.88	Y = - 35.7X - 614.61	0.423	N.S.

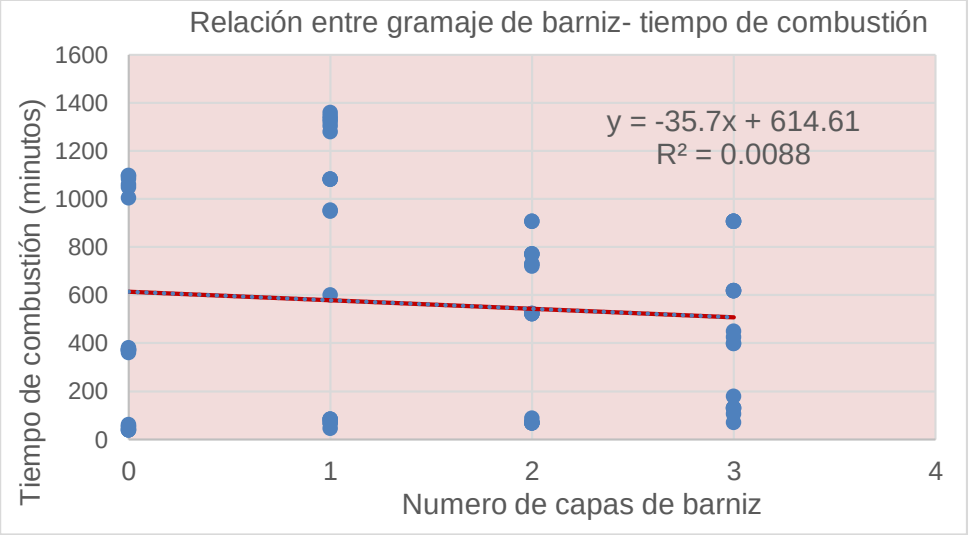
N.S.= Relación no significativa

En la tabla 14 y figura 9 se muestran el análisis de correlación entre el gramaje de barniz con retardador del fuego y el tiempo de combustión de la madera, en esta relación se observa que el grado de asociación entre las dos variables es no significativa, al comprobar que el coeficiente de correlación fue de r = 0.09.

El coeficiente de determinación r^2×100 calculado, indica que el gramaje de barniz presenta una bajísima influencia en el tiempo de combustión de la madera, cuyo valor fue solo de 0.88%, la diferencia de 99.12 % se debió a otros factores inherentes al barniz. Por lo tanto, el gramaje de barniz con retardador de fuego, no tiene influencia significativa en el tiempo de combustión de la madera.

Figura 9.

Relación entre gramaje de barniz - tiempo de combustión de la madera



Según los análisis de tiempos de combustión de las probetas de madera en función de la densidad básica y gramaje de barniz, se determinó que, a mayor densidad básica de la madera, el tiempo de combustión es mayor, sin una influencia notoria de la cantidad de capas de barniz que se haya puesto en las probetas; como en el caso de las probetas de densidad muy alta, donde el tiempo de combustión es de 999 minutos. De forma similar, (Klinger *et al.*, 1998) citado por (Klinger *et al.*, 2003) encontraron que el comportamiento combustible de las maderas es distinto y está relacionado con el contenido de humedad en la zona de saturación de las fibras. Asimismo (Klinger *et al.*, 1999) citado por (Klinger *et al.*, 2003), determinaron que el abarco se comporta mejor ante el fuego, para dos de las variables evaluadas, tiempo de extinción de la llama y pérdida porcentual de peso.

Así mismo (Arquicity, 2006) citado por (Garay R. & Henriquez M., 2010), mencionan que cuando la madera ha sido expuesta directamente al fuego, puede perder entre 0.5 y 1 mm de grosor por minuto, dependiendo del tipo de madera, debido al proceso de carbonización. Sin embargo, si la madera se trata previamente con un retardante de fuego, puede resistir por más tiempo sin carbonizarse. También (Jun Wei *et al.*, 2007) citado por (Garay R. & Henriquez M., 2010), mostraron que había excelentes propiedades físico-químicas de la capa cuando el espesor del recubrimiento en la madera fue de 2.0 mm, el límite de resistencia al fuego llego a 210 minutos.

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- En concordancia con el objetivo general, se concluye que el barniz con retardador de fuego sí tiene un efecto positivo, ya que en las maderas barnizadas (tres gramajes) se obtuvieron un tiempo de combustión superior en comparación con las maderas sin barniz (testigo).
- Con respecto al primer objetivo específico, se encontró una relación positiva y significativa (r = 0.841) entre la densidad básica de la madera y su tiempo de combustión: a mayor densidad, mayor resistencia al fuego. Las maderas de densidad media (Brosimum potabile) con 3 capas de barniz alcanzaron 124.5 minutos, las de alta densidad (Swartzia recurva) con 1 capa llegaron a 958.5 minutos y las de muy alta densidad (Dipteryx micrantha) con 1 capa alcanzaron 1324.0 minutos.
- Para el segundo objetivo específico, el gramaje del barniz no mostró una relación significativa con el tiempo de combustión de la madera (r = 0.09), indicando que la cantidad de capas aplicadas no influyó de forma relevante en dicho tiempo.
- Finalmente, en el tercer objetivo específico no hubo relación significativa entre el gramaje del barniz y el tiempo de combustión; el coeficiente de determinación (r^2 = 0.88%) indica una influencia muy baja, siendo la variación explicada principalmente por otros factores del barniz.

5.2. Recomendaciones

- De acuerdo a los resultados obtenidos se recomienda que, en madera de densidad alta y muy alta, se utilice un gramaje de 157.86 g/m² (1 capa) por que el barniz con retardador del fuego, retarda significativamente el fuego; más de dos capas de barniz ya resulta antieconómico.
- En las maderas de densidad media si resulta el barnizado con 3 capas de 157.86 g/m² cada una, debido a la estructura anatómica de las maderas de densidad media y baja, por ser muy porosas, que le vuelven un material de velocidad de combustión rápida.
- En las construcciones con madera se recomienda construir con madera de densidad alta y muy alta, porque la densidad de la madera influye en la velocidad de combustión, como consecuencia de su estructura anatómica, que retarda el fuego.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

AITIM. (2018). El fuego y sus circustancias (Boletin de informacion técnica). *(En línea)*. Lima, Perú: Asociación de Investigación de las Industrias de la Madera. p. 23 y 26. Recuperado el 05 de febrero de 2022, de Disponible en: https://infomadera.net/uploads/publicaciones/pdf_321_Generalidades.pdf

Arquicity. (2006). Guia de Ignífugos: Retardantes de fuego para la madera. Obtenido de Disponible en: <http://www.arquicity.com/guia-ignifugos-retardantes.html>

Blatem, P. (2018). Barniz para madera: tratamientos para una buena conservación. *(En línea)*. Lima, Perú. Recuperado el 1 de febrero de 2022, de Disponible en: https://www.blatem.com/es/actualidad/noticias/barniz-para-madera-tratamientos-para-una-buena-conservacion

Centro de Trasnferencia Tecnológica. (2004). La construccion de viviendas en maderas. *(En línea)*. Santiago, Chile: Corporación Chilena de la Madera, Centro Transferencia Tecnologica de la Madera, Universidad de Concepción de Chile. p. 19. Recuperado el 4 de febrero de 2022, de Disponible en: https://www.curriculumnacional.cl/614/articles-89533_recurso_pdf.pdf

Decorespacio. (2008). Productos retardantes al fuego. *(En línea)*. Recuperado el julio de 2008, de Disponible en: http://www.decorespacio. com/20080415-productos-retardantes-del-fuego.html

DEFINICIÓN. (14 de Febrero de 2024). *DEFINICIÓN DE*. Obtenido de INCANDESCENTE: https://definicion.de/incandescente/

DEFINICIÓN. (14 de Febrero de 2024). *DEFINICIÓN DE*. Obtenido de ANISÓTROPO: Disponible en: https://definicion.de/anisotropo/

Delgado, G. (1975). Propiedades de la madera,Universidad de los Andes. Mérida, Venezuela: Facultad de Ciencias Forestales. Escuela de Ingeniería Forestal.

Fleischer, H. O. (1960). The performance of wood in fire, Reporte No. 2202. U.S.: Forest Products Laboratory, Forest Service U.S. Department of Agriculture.

Flores K. y Flores G. (2024). Propuesta de tratamiento para mejorar el comportamiento de resistencia al fuego de la madera, mediante el uso de aditivos sustentables: Fosfato diamónico y bórax. *(En línea). Tesis Ing. Civ.* Lima, Perú: UPC. Recuperado el 2024 de noviembre de 2024, de Disponible en: https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/683189/Flores_PK.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Garay R. & Henriquez M. (2010). Comportamiento frente al fuego de tableros y madera de pino radiata con y sin pintura retardante de llama. Chile: Revista SCIELO. Maderas, Ciencia y tecnologia, 12(1): 11-24. Recuperado el 2022 de enero de 2022, de Disponible en: https://scielo.conicyt.cl/pdf/maderas/v12n1/ART02.pdf

Garay R. y Ahumada I. (2008). Comparación de propiedades de suelos laminados. Boletín de información técnica 252:26:29.

Garcia J. (2015). Estudio de nuevos retardantes de llama para la ignifugacion de madera maciza. Catalunya, España: Universidad Politecnica de Cataluña. Escuela Politécnica Superior de Edificación de Barcelona. Master Universitario de Ingenieria de la Edificación, 137 p. Recuperado el 25 de enero de 2022, de Disponible en: https://upcommons.upc.edu/handle/2117/88189

García, A., & Armiñana, J. (2011). Procedimiento y Técnicas Pictóricas. *Universidad de Murcia. Facultad de Bellas Artes*, 14.

IIAP. (s.f.). Maderas del Perú. *(En línea)*. Perú: Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana . Recuperado el 04 de febrero de 2022, de Disponible en: http://www.iiap.org.pe/upload/publicacion/CDinvestigacion/inia/inia-p4/inia-p4.htm

InterPaints. (2014). Barniz Retardador al fuego. *(En línea)*, 6 p. Lima, Perú: INTERPAINTS S.A.C. Recuperado el 17 de enero de 2022, de Disponible en: https://es.scribd.com/document/557485743/Msds-Barniz-Retardador-de-Fuego-Interpaints-1

INTERPAINTS. (2023). Esmalte retardador de fuego. Pintura ignífuga. *(En línea)*. Lima, Perú: INTERPAINTS S.A.C. 2 p. Recuperado el 5 de diciembre de 2023, de Disponible en: https://www.gcsac.com.pe/wp-content/uploads/2017/12/ESMALTE-RETARDADOR-DE-FUEGO.pdf

Isábal, C. (2015). Mejora del comportamiento al fuego de la madera mediante la impregnación con diferentes productos. Catalunya, España: UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE ESPAÑA. Escuela Politécnica Superior de Edificacion de Barcelona. Grado en Ciencias y Tecnologias de la Edificación. 85 p. Recuperado el 20 de enero de 2022, de Disponible en: https://upcommons.upc.edu/handle/2117/76609?show=full

Jun Wei *et al.* (2007). Study on preparation and fire-retardant mechanism analysis of intumescent flame-retardant coatings. Surface & Coatings Technology. 201: 7835–7841.

JUNAC. (1988). Manual del Grupo Andino para la preservaciónde maderas. Lima, Perú: Junta del Acuerdo de Cartagena.

Klinger *et al.* (1998). Incidencia del método de aplicación de ignífugos en el comportamiento ante el fuego de cinco maderas colombianas. Bogotá, Colombia: Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Facultad del medio Ambiente y Recursos Naturales.

Klinger *et al.* (1999). Incidencia del contenido de humedad en la zona de saturación de las fibras en el comportamiento combustible de cinco maderas colombianas.

Bogotá, Colombia: Universidad Distrital, Facultad del Medio Ambiente y Recursos Naturales. Proyecto Curricular de Ingeniería Forestal.

Klinger *et al.* (2000). Incidencia del tratamiento con tres formulaciones de ignifugos en el comportamiento combustible de cinco maderas colombianas. Bogota, Colombia: Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Facultad del medio Ambiente y Recursos Naturales.

Klinger *et al.* (2002). Efecto de la aplicación de cinco tratamientos ignifugantes sobre la combustibilidad de las maderas de Aceite María, Cedro Macho, Güino y Sajo. Bogotá, Colombia: Revista de Colombia Forestal 2002, vol:7 nro:15 pág:29-40. Recuperado el 15 de agosto de 2022, de Disponible en: https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/colfor/article/view/3305/4806.

Klinger *et al.* (2003). Efecto de la aplicación de ignífugos en el comportamiento combustible de las maderas de Chanul, Machare, Pantano y Níspero. *(En línea)*. Bogotá, Colombia: Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Colombia Forestal, 2003-09-00 vol:8 nro:16 pág:50-63. Recuperado el 5 de febrero de 2022, de Disponible en: https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/colfor/article/download/3378/4915?inline=1

Loureiro A. y Rodrigues W. (1975). Estudio anatómico de la madera del genero Swartzia (Leguminosa) de la Amazonia. *(En línea)*. Brasil. Recuperado el 5 de febrero de 2022, de Disponible en: https://www.scielo.br/j/aa/a/RYG7CwRQfzB5hhm4fxmPVmc/?format=pdf&lang=pt

Lp Chile. (2008). *Manual Práctico de Construcción Lp*. Obtenido de Disponible en: http://www.lpchile.cl/manualLP/anexos/10_ANEXO_ENSAYOS%20FIR333-340.pdf.

Lui, E. (2024). Analisis de probetas de madera de pino con y sin retardantes de llama en un contexto de riesgo por incendio forestal. p. 10. Barcelona, España: Universidad Politécnica de Catalunya. Recuperado el 15 de mayo de 2024, de Disponible en: https://upcommons.upc.edu/handle/2117/409211

MINVU. (2004). Nuevo Listado Oficial de comportamiento al fuego de elementos y componentes de la construcción. Título V: De las Tablas y Ensayos Informativos de Cálculo del Comportamiento al Fuego de los Elementos y Componentes de la Construcción. Santiago, Chile: Ministerio de Vivienda y Urbanismo. p. 219-221. Recuperado el 17 de enero de 2022, de Disponible en: http://serviu10.minvu.cl/documentos/Urbanismo%20y%20Construccion/Normativa%20Tecnica/Listado/Portada.pdf

MITECO. (13 de Febrero de 2024). *Ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico*. Obtenido de Pirólisis: https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/prevencion-y-gestion-residuos/flujos/domesticos/gestion/sistema-tratamiento/pirolisis.html#:~:text=La%20pirolisis%20es%20una%20degradaci%C3%B3n,produzcan%20las%20reacciones%20de%20combusti%

Núñez, C. (2007). Relaciones de conversión entre densidad básica y densidad seca de madera. *Cienc. Tecnol.*, 44-50.

OSINFOR e INIA. (2017). Fichas de identificacion de especies forestales maderables y silvicultura tropical. *(En línea)*. Lima, Perú: Estación Experimental Forestal Alexander Von Humboldt - INIA km 86. Padre Abad-Ucayali. 51 p. Recuperado el 05 de febrero de 2022, de Disponible en: https://cites.org/sites/default/files/timber_id_materials/files/A-FICHAS-MADERABLES-OSINFOR-2017-final-comp.pdf

QUIMICA. (13 de Febrero de 2024). *Quimica.es*. Obtenido de Combustión: https://www.quimica.es/enciclopedia/Combusti%C3%B3n.html#:~:text=La%20combusti%C3%B3n%20es%20una%20reacci%C3%B3n,luz%20al%20arder.

QuimiNet. (2006). Los retardantes al fuego. *(En línea)*. Lima, Perú: Informacion y negocios segundo a segundo. Recuperado el 17 de enero de 2022, de Disponible en: https://www.quiminet.com/articulos/que-son-los-retardantes-de-fuego-16164.htm

RAE. (13 de Febrero de 2024). *Real Academia Española*. Obtenido de Alquitrán: https://dle.rae.es/alquitr%C3%A1n

SERFOR e ITP/CITEmadera. (2022). Manual para la identificación anatómica de la madera de especies forestales de la amazonia peruana. *(En línea)*. Lima, Perú: Instituto Tecnológico de la producción. Centro de Innovación Productiva y Transferencia Tecnológica de la Madera. 94 p. Recuperado el 15 de enero de 2023, de Disponible en: https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/4158691/87769%2000%20COOP%20ALEMANA%20MANUAL%20-%20web.pdf.pdf?v=1677019611

Silva, E. (1970). Teorías sobre la protección de la madera contra el fuego. Sao Paulo, Brasil: Universidad Armando de Salles Oliveira.

Sotomayor J. y Avila L. (2021). Reacción al Fuego de Tres Maderas Angiospermas Impregnadas con Sales de Boro. Morelia, México: Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Escuela Superior Politécnica del Litotal. Revista Tecnológica Espol – RTE Vol. 33, N° 1. p. 35-48. Recuperado el 3 de febrero de 2022, de Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/352903067_Reaccion_al_Fuego_de_Tres_Maderas_Angiospermas_Impregnadas_con_Sales_de_Boro

Sotomayor J. y Gallegos G. (2019). Disminución de la resistencia mecánica de madera laminada ocasionada por su exposición al fuego. Lima, Perú: Universidad Nacional Agraria La Molina. Facultad de Ciencias Forestales. Revista Forestal del Perú, 34 (1): 66 - 82, (2019). Recuperado el 30 de enero de 2022, de Disponible en: https://revistas.lamolina.edu.pe/index.php/rfp/article/view/1286/pdf_37

TEXFIRE. (13 de Febrero de 2024). *TEXFIRE*. Obtenido de IGNÍFUGO: ¿QUE NO SE QUEMA O QUE RETARDA EL FUEGO?: https://texfire.net/es/blog/78_ignifugo-que-no-se-quema-o-que-retarda-fuego.html

Tropicos. (s.f.). Swartzia recurva Poepp. *(En línea)*. Missouri Botanical Garden. Tropicos v3.4.2. Recuperado el 4 de febrero de 2025, de Disponible en: https://www.tropicos.org/name/13001792

WFO. (2024). Plant List. Snapshots of the taxonomy. Recuperado el 15 de enero de 2024, de https://Disponible en: wfoplantlist.org/taxon/wfo-0000572437-2024-12?matched_id=wfo-0000510072&page=1

ANEXOS

ANEXO 1

Tiempos de combustión de las probetas según su gramaje y densidad

Tabla 15.

Tiempos en minutos de la combustión de las probetas según su gramaje y densidad

	capas 0	capas 1	capas 2	capas 3
Densidad Media	50	83	69	131
	55	83	68	178
	61	69	67	105
	40	45	87	131
	40	67	71	71
	40	83	71	131
Densidad Alta	360	1082	524	398
	370	601	772	619
	372	1082	772	398
	374	1082	524	619
	371	950	524	450
	380	954	524	425
Densidad Muy alta	1084	1322	770	908
	1096	1344	720	619
	1005	1305	730	908
	1060	1280	730	908
	1098	1360	908	619
	1050	1333	908	908

Fotos del ensayo de la combustión de las probetas

Figura 10.

Barniz retardador de fuego INTERPAINTS y brocha.



Figura 11.

Balanza gramera



Figura 12.

Codificación de las probetas



Figura 13.

Probetas codificadas de huayruro



Figura 14.

Probetas codificadas de shihuahuaco



Figura 15.

Probetas codificadas de panguana



Figura 16.

Proceso de pesado de las probetas



Figura 17.

Aplicación de capas de barniz con retardador de fuego



Figura 18.

Secado al sol de las probetas

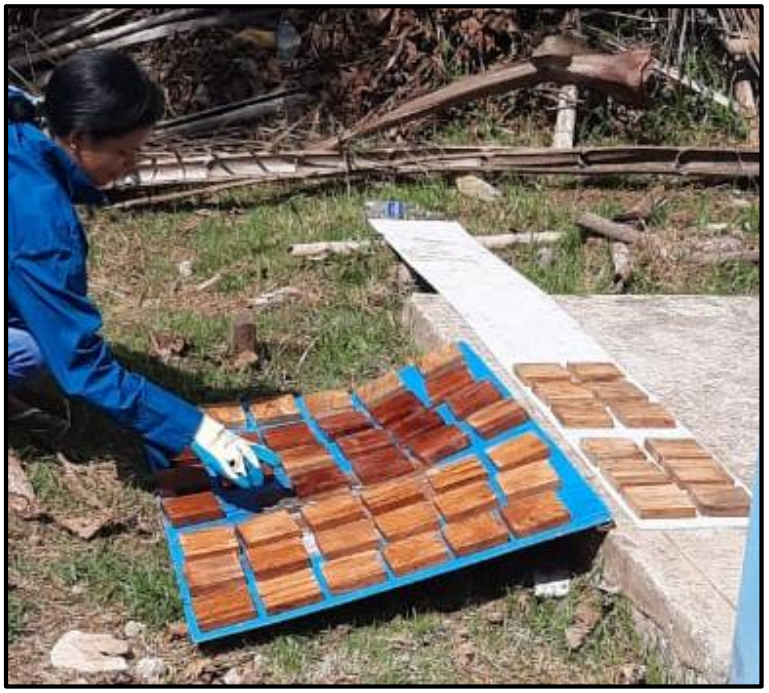


Figura 19.

Ensayo de combustión de las probetas con termómetro



Figura 20.

Ensayo de combustión de las probetas



Figura 21.

Probeta después de las pruebas de combustión

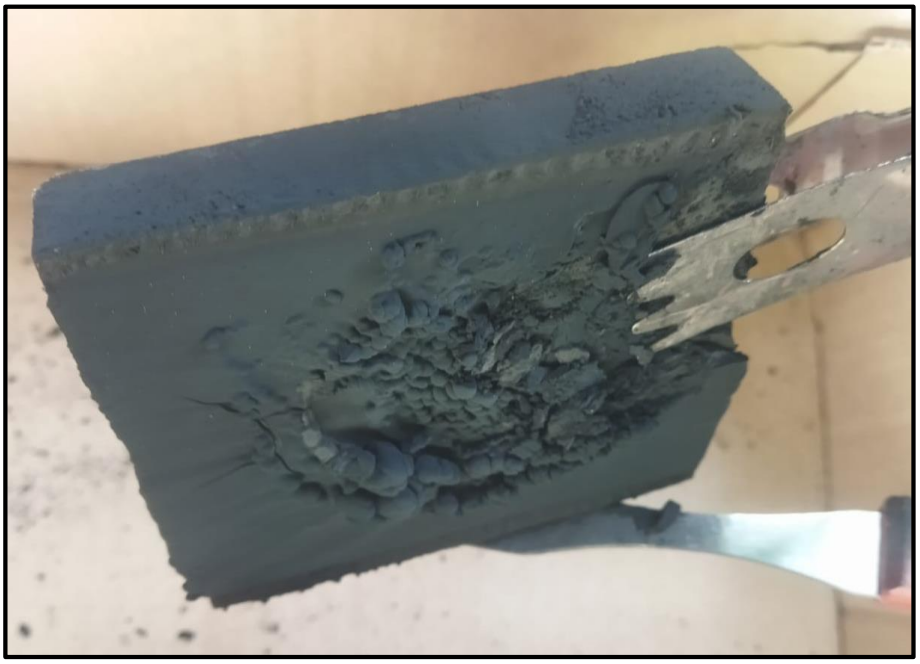


Figura 22.

Tesista (Autor)



ANEXO 2

CONSTANCIA DE IDENTIFICACIÓN DE ESPECIES N.°007-2021-INIA-EEAP/HFP.

PERÚ Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego — inia Instituto Nacional de Innovación Agraria

Estación Experimental Agraria Pucallpa - Ucayali

"Decenio de la Igualdad de oportunidades para mujeres y hombres"
"Año del Bicentenario del Perú: 200 Años de Independencia"

INSTITUCIÓN CIENTÍFICA NACIONAL DEPOSITARIA DE MATERIAL BIOLÓGICO
CÓDIGO DE AUTORIZACIÓN AUT-ICND-2016-013

CONSTANCIA n.º 007 -2021-INIA-EEAP/HFP

El Coordinador del Herbario Forestal de la Estación Experimental Agraria Pucallpa del Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA)

HACE CONSTAR:

Que, las muestra botánicas presentadas por Fred Cristian Ramírez Guerra, consultor del Programa ProAmbiente – GIZ Perú, para el proyecto titulado "Caracterización anatómica de especies forestales de la Amazonia Peruana", para el levantamiento de información en las Unidades de Manejo de la PC 11 y 12, de la Comunidad Nativa Mapalja, provincia de Atalaya, departamento de Ucayali, realizado por el Programa "Contribución a las Metas Ambientales del Perú" (ProAmbiente II), con permiso de coleta según la **RDG N° 000571-2021-DGGSPFFS**, han sido **DETERMINADAS** en este centro de investigación **Herbario Forestal de Pucallpa – HFP** como se indica a continuación:

N°	Código de muestra	Código de colecta	Familia	Especie	Autor	Autorización de colecta N°:
01	PC11F7PN32-28	F.C. Ramírez 1750	Moraceae	*Brosimum utile subsp. ovatifolium*	(Ducke) C.C. Berg	000571-2021-DGGSPFFS
02	PC11F4BTC37-22	F.C. Ramírez 1751	Caryocaraceae	*Anthodiscus peruanus*	Baill.	000571-2021-DGGSPFFS
03	PC12F5SI5-01	F.C. Ramírez 1752	Fabaceae	*Dipteryx micrantha*	Harms	000571-2021-DGGSPFFS
04	PC12F2CON12-03	F.C. Ramírez 1753	Fabaceae	*Diplotropis purpurea*	(Rich.) Amshoff	000571-2021-DGGSPFFS
05	PC12F5CPL7-02	F.C. Ramírez 1754	Burseraceae	*Dacryodes belemensis*	Cuatrec.	000571-2021-DGGSPFFS

BICENTENARIO

Carretera Federico Basadre Km 4.200
T: 61-571831/C: 977 744 104
pucallpa@inia.gob.pe
www.gob.pe/midagri

"Decenio de la Igualdad de oportunidades para mujeres y hombres"
"Año del Bicentenario del Perú: 200 Años de Independencia"

06	PC11F8PN22-27	F.C. Ramirez 1755	Moraceae	*Brosimum potabile*	Ducke	000571-2021-DGGSPFFS
07	PC12F2PSH9-04	F.C. Ramirez 1756	Fabaceae	*Parkia pendula*	(Willd.) Benth. Ex Walp.	000571-2021-DGGSPFFS
08	PC11F10IA10-18	F.C. Ramirez 1757	Lauraceae	*Aniba perutilis*	Hemsl.	000571-2021-DGGSPFFS
09	PC11F6ACM8-20	F.C. Ramirez 1758	Lauraceae	*Ocotea aciphylla*	(Nees & Mart.) Mez	000571-2021-DGGSPFFS
10	PC11F9IA31-19	F.C. Ramirez 1759	Lauraceae	*Aniba perutilis*	Hemsl.	000571-2021-DGGSPFFS
11	PC11F7HA41-16	F.C. Ramirez 1760	Fabaceae	*Swartzia recurva*	Poepp.	000571-2021-DGGSPFFS
12	PC11F12HA13-17	F.C. Ramirez 1761	Fabaceae	*Swartzia recurva*	Poepp.	000571-2021-DGGSPFFS
13	PC11F5PS72-15	F.C. Ramirez 1762	Fabaceae	*Pseudopiptadenia suaveolens*	(Miq.) J.W. Grimes	000571-2021-DGGSPFFS
14	PC11F5AM42-09	F.C. Ramirez 1763	Caryocaraceae	*Caryocar glabrum*	(Aubl.) Pers.	000571-2021-DGGSPFFS
15	PC11F8CON28-14	F.C. Ramirez 1764	Fabaceae	*Diplotropis purpurea*	(Rich.) Amshoff	000571-2021-DGGSPFFS
16	PC11F5MEN50-11	F.C. Ramirez 1765	Lauraceae	*Ocotea aff. whitei*	Woodson	000571-2021-DGGSPFFS
17	PC11F6MEN11-12	F.C. Ramirez 1766	Lauraceae	*Ocotea aff. whitei*	Woodson	000571-2021-DGGSPFFS
18	PC11F8AM23-13	F.C. Ramirez 1767	Caryocaraceae	*Caryocar glabrum*	(Aubl.) Pers.	000571-2021-DGGSPFFS
19	PC11F2CMM13-05	F.C. Ramirez 1768	Vochysiaceae	*Erisma floribundum* var. *tomentosum*	(Ducke) Stafleu	000571-2021-DGGSPFFS
20	PC11F4CPL17-08	F.C. Ramirez 1769	Burseraceae	*Dacryodes belemensis*	Cuatrec.	000571-2021-DGGSPFFS
21	PC11F4PS4-07	F.C. Ramirez 1770	Fabaceae	*Pseudopiptadenia suaveolens*	(Miq.) J.W. Grimes	000571-2021-DGGSPFFS
22	PC11F3SI40-06	F.C. Ramirez 1771	Fabaceae	*Dipteryx micrantha*	Harms	000571-2021-DGGSPFFS
23	PC11F4PN5-26	F.C. Ramirez 1772	Moraceae	*Brosimum utile* subsp. *ovatifolium*	(Ducke) C.C. Berg	000571-2021-DGGSPFFS
24	PC11F5PN56-25	F.C. Ramirez 1773	Moraceae	*Brosimum potabile*	Ducke	000571-2021-DGGSPFFS
25	PC11F9BTC27-29	F.C. Ramirez 1774	Caryocaraceae	*Anthodiscus peruanus*	Ball.	000571-2021-DGGSPFFS
26	PC11F2ACM4-21	F.C. Ramirez 1775	Lauraceae	*Ocotea aciphylla*	(Nees & Mart.) Mez	000571-2021-DGGSPFFS
27	PC11F5CMM36-24	F.C. Ramirez 1776	Vochysiaceae	*Ruizterania trichanthera*	(Warm.) Marc.-Berti	000571-2021-DGGSPFFS
28	PC11F7CMM36-23	F.C. Ramirez 1777	Vochysiaceae	*Ruizterania trichanthera*	(Warm.) Marc.-Berti	000571-2021-DGGSPFFS

BICENTENARIO

Carretera Federico Basadre Km 4.200
T: 61-571831/C: 977 744 104
pucallpa@inia.gob.pe
www.gob.pe/midagri

"Decenio de la Igualdad de oportunidades para mujeres y hombres"
"Año del Bicentenario del Perú: 200 Años de Independencia"

29	PC11F5HA35-10	F.C. Ramírez 1778	Fabaceae	*Hymenolobium pulchrimum*	Ducke	000571-2021-DGGSPFFS

A los 25 días del mes de octubre del dos mil veintiuno, se expide la presente constancia al interesado para los fines que se estime conveniente.

Atentamente,

HERBARIO FORESTAL DE LA EEA PUCALLPA
Ing. Ymber Flores Bendezú
Coordinador

BICENTENARIO

Carretera Federico Basadre Km 4.200
T: 61-571831/C: 977 744 104
pucallpa@inia.gob.pe
www.gob.pe/midagri