

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

LA MOLINA

Facultad de Ciencias Forestales



**Durabilidad natural de tres especies
forestales a la acción de dos hongos
xilófagos**

Tesis para optar el Título de
INGENIERO FORESTAL

Haydeé Miriam Ramos León

Lima – Perú
2014

DEDICATORIA

Esta tesis es una parte de mi vida, y una meta cumplida, y con ella de muchos sueños y anhelos, por eso este trabajo va dedicado a Dios por no abandonarme en el camino, a mi hija Renata, mi esposo Bild y sobretodo a mis padres Marcial y Herminia por ser ejemplo de perseverancia, humildad, amor y sacrificio.

AGRADECIMIENTOS

Mi agradecimiento incondicional a Dios por que sin su ayuda no estaría en el lugar de hoy, por tenerme guardado este momento tan esperado y muchas cosas buenas que sé que vendrán adelante.

A mis padres quienes me dieron la vida y han estado conmigo en todo momento. Gracias por todo papá y mamá por darme una carrera para mi futuro y por creer en mí, aunque hemos pasado momentos difíciles siempre han estado apoyándome y brindándome todo su amor, por todo esto les agradezco de todo corazón el que estén a mi lado. Los quiero mucho.

Mi sincero agradecimiento a mis patrocinadores Mg. Sc. Florencio Trujillo Cuellar y Lic. Deysi Guzmán Loayza, por compartir sus conocimientos y experiencias, por la confianza depositada en la conclusión de la investigación, sobre todo por su paciencia.

A Bild por confiar en mí y ser mi soporte para culminar esta etapa de mi vida y comienzo de otra.

A mi gran amigo Manuel Bedón Sotelo, por su valiosa amistad y apoyo en la preparación de los medios de cultivo realizados en el laboratorio de SENASA.

A mi familia en general, porque me han brindado su apoyo incondicional y por compartir conmigo buenos y malos momentos.

A mis amigas Sandra, Elena y Ruby por su apoyo en la realización de ésta investigación.

A mi tío Marcelino Lares, por su gran ayuda antes, durante y después de mi tesis.

A los Ing. Betty Matos y Juan Zamora, por sus consejos y el continuo apoyo que recibí de parte de ellos para la realización de esta investigación.

Al Ing. José Eloy Cuellar Bautista quien fue la persona que me dio el último empujón para la sustentación de esta investigación.

Y a todas aquellas personas que de una u otra forma, colaboraron o participaron en la realización de esta investigación

RESUMEN

La Durabilidad Natural de la madera de tres especies forestales; *Swietenia macrophylla* (caoba), *Simarouba amara* (marupa) y *Schizolobium amazonicum* (pino chuncho), fue evaluada en base a su resistencia a la pudrición frente a la acción de dos hongos xilófagos; *Schizophyllum commune* y *Polyporus sanguineus*, en condiciones de laboratorio.

El ensayo del proceso de pudrición se realizó en el laboratorio de Micología del SENASA, tomando como referencia la Norma Técnica ASTM D2017-05. Mientras que el análisis químico, se realizó en el Laboratorio de Pulpa y Papel del Departamento Académico de Industrias Forestales de la Universidad Nacional Agraria la Molina.

Los resultados muestran que la resistencia a la pudrición de la madera de las tres especies forestales es diferente frente a la acción de los hongos empleados. Así la madera caoba presentó una alta resistencia a la pudrición, alcanzando una clasificación de “Altamente Durable” (A). Sin embargo la madera de marupa y pino chuncho no mostraron resistencia a la pudrición, siendo clasificados por ende como “No durables” (D).

Asimismo, se halló una relación inversa entre el contenido de extractivos de la madera de las tres especies forestales estudiadas con respecto a la pérdida de peso de las mismas. Encontrándose que a mayor contenido de extractivos menor es el porcentaje de pérdida de peso ocasionado por la pudrición de la madera.

Mediante el análisis fitoquímico se detectó en la madera de caoba metabolitos secundarios como: alcaloides, flavonoides, saponinas y taninos, cuyas propiedades fungicidas e insecticidas explican su gran resistencia a la pudrición. Mientras que en las maderas de marupa y pino chuncho se determinaron alcaloides, saponinas y taninos en menor grado, lo que explica la escasa resistencia que tienen frente a la acción de los hongos xilófagos.

ÍNDICE

	Página
AGRADECIMIENTOS	II
RESUMEN	III
ÍNDICE	IV
LISTA DE CUADROS	VI
LISTA DE FIGURAS	VII
1. INTRODUCCIÓN	8
2. REVISIÓN DE LITERATURA	10
2.1 RESISTENCIA DE LA MADERA A LA PUDRICIÓN.....	19
2.1.1 <i>Significado y Relación con la Durabilidad de la Madera</i>	19
2.1.2 <i>Importancia de la Determinación de la Resistencia de la Madera a la Pudrición</i>	20
2.1.3 <i>Método de determinación de la resistencia de la madera a la pudrición</i>	21
2.2 PUDRICIÓN DE LA MADERA POR HONGOS XILÓFAGOS.....	22
2.2.1 <i>Factores indispensables para el desarrollo de hongos xilófagos</i>	22
2.2.2 <i>Proceso de pudrición de la madera</i>	25
2.2.3 <i>Pudrición blanca y marron</i>	26
2.2.4 <i>Actividad enzimática de los hongos xilófagos</i>	30
2.3 RAZONES DE LA RESISTENCIA DE LA MADERA A LA PUDRICIÓN	31
2.3.1 <i>Principio activo tóxico</i>	31
2.3.2 <i>Razones secundarias de la resistencia de la madera a la pudrición</i>	32
2.3.3 <i>Composición de los extractivos de la madera</i>	32
2.3.4 <i>Metabolitos Celulares</i>	35
2.3.4.1 <i>CARACTERÍSTICAS DE LOS PRINCIPALES GRUPOS DE METABOLITOS SECUNDARIOS</i>	36
2.4 NORMALIZACIÓN	37
3. MATERIALES Y MÉTODOS	40
3.1 LUGAR	40
3.2 MATERIALES Y EQUIPOS	40
3.2.1 <i>Materiales</i>	40
3.2.1.1 <i>Madera</i>	40
3.2.1.2 <i>Hongos Xilófagos</i>	40
3.2.1.3 <i>Medio de Cultivo</i>	41
3.2.1.4 <i>Cámaras de Pudrición y Accesorios</i>	41
3.2.2 <i>Equipos e Instrumentos</i>	41
3.3 MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS	44
3.3.1 <i>Prueba de Resistencia de La Madera a La Pudrición</i>	44
3.3.2 <i>Contenido de Extractivos en la Madera</i>	50
3.3.3 <i>Análisis Fitoquímico Preliminar de los Extractivos de la Madera</i>	51
3.3.4 <i>Análisis Estadístico</i>	58
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	59
4.1 RESISTENCIA DE LA MADERA A LA PUDRICIÓN.....	59
4.1.1 <i>Perdida de leño de las Probetas de Madera</i>	59
4.1.2 <i>Clasificación de la madera por Durabilidad natural en base al Índice de Resistencia a la Pudrición</i> 65	
4.2 ENSAYO DE SOLUBILIDAD	67
4.3 DETERMINACIÓN DE EXTRACTIVOS	68
4.4 MARCHA FITOQUÍMICA	74
5. CONCLUSIONES	83

6. RECOMENDACIONES.....	84
ANEXO 1.....	94
DESCRIPCIÓN DE LOS HONGOS XILÓFAGOS EMPLEADOS EN EL ESTUDIO.....	94

Lista de cuadros

	Página
CUADRO 1 CRITERIO PARA LA INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS Y CLASIFICACIÓN DE MADERAS RESPECTO A SU DURABILIDAD NATURAL A LAS PUDRICIÓN	49
CUADRO 2 CLASIFICACIÓN DE FLAVONOIDES POR EL TIPO DE COLORACIÓN	56
CUADRO 3 PROMEDIO DE PÉRDIDA DE PESO DE 3 ESPECIES FORESTALES POR ACCIÓN DE <i>SHIZOPHYLLUM COMMUNE</i>	60
CUADRO 4 PROMEDIO DE PÉRDIDA DE PESO DE 3 ESPECIES FORESTALES POR ACCIÓN DE <i>POLYPORUS SANGUINEUS</i>	61
CUADRO 5 ANÁLISIS DE VARIANCA DE LA PÉRDIDA DE LEÑO DE 3 ESPECIES FORESTALES POR ACCIÓN DE 2 HONGOS XILÓFAGOS	63
CUADRO 6 ANÁLISIS DE VARIANCA PARA EL ESTUDIO DE LOS EFECTOS SIMPLES DE CLASES DE MADERA Y HONGOS XILÓFAGOS.....	64
CUADRO 7 CLASIFICACIÓN DE LA MADERA DE 3 ESPECIES FORESTALES POR DURABILIDAD NATURAL EN BASE A ÍNDICES DE RESISTENCIA.	66
CUADRO 8 PRUEBA DE SOLUBILIDAD.....	67
CUADRO 9 RESULTADOS DE LA DETERMINACIÓN DE EXTRACTIVOS	68
CUADRO 10 CORRELACIÓN ENTRE EL PORCENTAJE DE EXTRACTIVOS Y PÉRDIDA DE PESO DE LAS ESPECIES FORESTALES.....	71
CUADRO 11 RESULTADOS DE MARCHA FITOQUÍMICA DE LAS ESPECIES FORESTALES.....	75
CUADRO 12 VARIACIONES DE PESO EN PROBETAS DE CAOBA " <i>SWIETENIA MACROPHYLLA</i> " " LUEGO DE 12 SEMANAS DE INCUBACIÓN	98
CUADRO 13 VARIACIONES DE PESO EN PROBETAS DE MARUPA " <i>SIMAROUBA AMARA</i> " " LUEGO DE 12 SEMANAS DE INCUBACIÓN ..	99
CUADRO 14 VARIACIONES DE PESO EN PROBETAS DE PINO CHUNCHO " <i>SCHIZOLOBIUM AMAZONICUM</i> " LUEGO DE 12 SEMANAS DE INCUBACIÓN	100
CUADRO 15 DETERMINACIÓN DE LA PÉRDIDA DE PESO EN PORCENTAJE DE LA CAOBA (<i>SWIETENIA MACROPHYLLA</i>) A LA ACCIÓN DE DOS HONGOS XILÓFAGOS.....	101
CUADRO 16 ANÁLISIS DE VARIANZA PARA DETERMINAR LA DURABILIDAD DE CAOBA (<i>SWIETENIA MACROPHYLLA</i>) A LA ACCIÓN DE DOS HONGOS XILÓFAGOS CON RESPECTO A LA VARIABLE PÉRDIDA DE PESO.	101
CUADRO 17 DETERMINACIÓN DE LA PERDIDA DE PESO EN PORCENTAJE DE LA MARUPA (<i>SIMARAUBA AMARA</i>) A LA ACCIÓN DE DOS HONGOS XILÓFAGOS.	102
CUADRO 18 ANÁLISIS DE VARIANZA PARA DETERMINAR LA DURABILIDAD DE MARUPA (<i>SIMARAUBA AMARA</i>) A LA ACCIÓN DE DOS HONGOS XILÓFAGOS CON RESPECTO A LA VARIABLE PERDIDA DE PESO.	102
CUADRO 19 DETERMINACIÓN DE LA PERDIDA DE PESO EN PORCENTAJE DE LA PINO (<i>SCHIZOLOBIUM AMAZONICUM</i>) A LA ACCIÓN DE DOS HONGOS XILÓFAGOS.....	103
CUADRO 20 ANÁLISIS DE VARIANZA PARA DETERMINAR LA DURABILIDAD DE PINO (<i>SCHIZOLOBIUM AMAZONICUM</i>) A LA ACCIÓN DE DOS HONGOS XILÓFAGOS CON RESPECTO A LA VARIABLE PESO SECO FINAL.....	103

Lista de figuras

	Página
FIGURA 1	SWIETENIA MACROPHYLLA G. KING12
FIGURA 2	SIMAROUBA AMARA AUBL.....15
FIGURA 3	SCHIZOLOBIUM AMAZONICUM HUBER EX DUCKE18
FIGURA 4	PROBETAS DE LAS ESPECIES FORESTALES ESTUDIADAS45
FIGURA 5	MICELIO DE HONGOS XILÓFAGO DEL (A) POLYPORUS SANGUINEUS L. EX. FR. Y (B) SHYZOPHYLLUM COMMUNE FRIES. (FOTO: H. RAMOS).....46
FIGURA 6	CRECIMIENTO DE HONGOS XILÓFAGOS (A) POLYPORUS SANGUINEUS L. EX. FR Y (B) SHYZOPHYLLUM COMMUNE FRIES. (FOTO: H. RAMOS).....47
FIGURA 7	HONGOS EN CÁMARA DE INCUBACIÓN (FOTO: H. RAMOS).....47
FIGURA 8	PRUEBA DE DURABILIDAD DE LAS ESPECIES FORESTALES AL ATAQUE DE HONGOS XILÓFAGOS (A) POLYPORUS SANGUINEUS L. EX. FR Y (B) SHYZOPHYLLUM COMMUNE FRIES. (FOTO: H. RAMOS).....48
FIGURA 9	PROBETAS EN ESTUFA DE SECADO48
FIGURA 10	DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO DE DETERMINACIÓN DEL ANÁLISIS FITOQUIMICO53
FIGURA 11	PÉRDIDA DE PESO INDUCIDAS POR LOS HONGOS XILÓFAGOS EN LAS ESPECIES FORESTALES.62
FIGURA 12	CONTENIDO DE EXTRACTIVOS POR ENSAYO DE LAS ESPECIES FORESTALES (CAOBA, MARUPA Y PINO CHUNCHO).....69
FIGURA 13	RELACIÓN ENTRE EL CONTENIDO DE EXTRACTIVOS Y ESPECIE FORESTAL (CAOBA, MARUPA Y PINO CHUNCHO)73
FIGURA 14	ENSAYO DE DRAGENDORFF, A ₁ ,B ₁ Y C ₁ EXTRACTOS CON EL REACTIVO Y A, B Y C EXTRACTOS SIN EL REACTIVO (TESTIGO)76
FIGURA 15	ENSAYO DE MAYER; A ₁ ,B ₁ Y C ₁ EXTRACTOS SIN EL REACTIVO (TESTIGO) Y A, B Y C EXTRACTOS CON EL REACTIVO..77
FIGURA 16	ENSAYO DE SHINODA EN EXTRACTO DE CAOBA, (A) EXTRACTO TESTIGO, (B) EXTRACTO TRANSCURRIDO 1 MIN DE REACCIÓN Y (C) EXTRACTO TRANSCURRIDO 5MIN DE REACCIÓN78
FIGURA 17	ENSAYO DE SHINODA EN EXTRACTO DE MARUPA, (A) EXTRACTO TESTIGO, (B) EXTRACTO TRANSCURRIDO 1 MIN DE REACCIÓN Y (C) EXTRACTO TRANSCURRIDO 5MIN DE REACCIÓN A78
FIGURA 18	ENSAYO DE SHINODA EN EL EXTRACTO DE PINO CHUNCHO, (A) EXTRACTO TESTIGO, (B) EXTRACTO TRANSCURRIDO 1 MIN DE REACCIÓN Y (C) EXTRACTO TRANSCURRIDO 5MIN DE REACCIÓN79
FIGURA 19	ENSAYO DE FEHLING, (A) SIN REACTIVO Y (B) CON REACTIVO (FOTO: H. RAMOS).....79
FIGURA 20	PRUEBA DE ESPUMA EN LOS EXTRACTOS DE (A) PINO CHUNCHO, (B) MARUPA Y (C) CAOBA. (FOTO: H. RAMOS) ...80
FIGURA 21	PRUEBA DE HEMOLISIS (A) PLACA DE AGAR SANGRE SIN EXTRACTO (B) EXTRACTO DE CAOBA, (C) EXTRACTO DE MARUPA Y (D) EXTRACTO DE PINO CHUNCHO. (FOTO: H. RAMOS)81
FIGURA 22	ENSAYO DE FeCl ₃ . A, B Y C EXTRACTOS SIN EL REACTIVO (TESTIGO) Y A ₁ ,B ₁ Y C ₁ EXTRACTOS CON EL REACTIVO82

1. INTRODUCCIÓN

En nuestro país, las especies conocidas como caoba (*Swietenia macrophylla* G.,Kingy), marupa (*Simarouba amara*) y pino chuncho (*Schizolobium amazonicum* Huber., Ex Ducke), se distribuyen ampliamente en nuestra Amazonía por debajo de los 1200 msnm, en los bosques secundarios, periódicamente inundados como en; Loreto, Ucayali, San Martín, etc. Su abundancia en Selva Central, además de otras características de las especies como la regeneración natural en los espacios abiertos, exigen continuar con los estudios realizados a las especies maderables más comunes, para incorporar como alternativa de uso al mercado local, nacional e internacional, dado que la demanda actual de la madera viene generando problemas relacionados con la deforestación y por consiguiente con el medio ambiente.

La madera por ser de origen biológico es susceptible al ataque de microorganismos que dependiendo de la “agresividad” pueden afectar el rendimiento y calidad de ésta cuando está prestando servicio. Por consiguiente no es suficiente solo conocer sus propiedades anatómicas y físico-mecánicas para su mejor utilización sino también es de suma importancia el conocimiento de su durabilidad natural.

La durabilidad está determinada, entre otros, por los caracteres anatómicos del leño y por el tipo y cantidad de extractivos, además se considera que la durabilidad varía entre especies y aún entre individuos de una misma especie de acuerdo con la edad y las condiciones en que se desarrollan. Los estudios realizados sobre la durabilidad natural de la madera recomiendan la evaluación de diversas especies exóticas y nativas como marupa y pino chuncho antes de introducirlas al mercado. En tal sentido el presente trabajo de investigación plantea determinar la durabilidad natural de las especies en base a su resistencia a la acción de dos hongos xilófagos y la influencia del contenido de extractivos.

Por lo tanto, para el presente trabajo de investigación se plantean los siguientes objetivos:

- 1.- Evaluar la resistencia de la madera de las especies: *Swietenia macrophylla*, *Simarouba amara* y *Schizolobium amazonicum* a la acción de los hongos *Schizophyllum commune* y *Polyporus sanguineus*.
- 2.- Determinar el contenido total de extractivos de las tres especies forestales, y realizar la evaluación fitoquímica de los extractivos de las tres especies forestales.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

Descripción de las especies forestales empleadas en el estudio

Swietenia macrophylla G. King

División	: Magnoliophyta
Clase	: Magnoliopsida
Orden	: Sapindales
Familia	: Meliaceae
Nombre científico	: <i>Swietenia macrophylla</i> G. King
Nombre común	: “Caoba”

Descripción del árbol

Navarro,(1999), el género *Swietenia* se caracteriza por tener hojas paripinadas, en raras ocasiones con una hojuela más, que da la idea de hojas imparipinadas, de 10 a 50 cm de largo dependiendo de la edad del árbol y de la posición de las hojas en el árbol. Generalmente las hojas de los árboles adultos son más pequeñas que las de los árboles jóvenes, así como las hojas en los estratos inferiores de los árboles son de mayor tamaño.

Distribución y hábitat

Reynel (2003), Desde México en Centro América a la región amazónica, hasta Bolivia, mayormente debajo de los 1200msnm. Se le observa en ámbitos con pluviosidad elevada y constante y no tolera las sequias prolongadas; es una especie con tendencia heliofita, presente en bosque disturbados perdurando hasta la condición primaria, usualmente en suelos ligeros francos arenosos, de buena fertilidad, bien drenados, con pedregosidad baja a media.

Encarnación,(1983), esta especie se distribuye en bosque tropical seco y húmedo, manifestando cierto polimorfismo, desde Yucatán en México, América central, hasta la Amazonía, donde

crece preferentemente no inundado (Venezuela, Colombia, Ecuador, Perú y Brasil occidental), ocupando altitudes de 100 a 1100 msnm. También es frecuente cultivada como ornamental en ciudades en clima tropicales. En el Perú se le encuentra en forma natural en los departamentos de cusco, Huánuco, Loreto, Madre de Dios, Pucallpa, San Martín y Ucayali

Lamb, (1966); Pennington, (1981), el área de distribución natural de la caoba se extiende desde México, a los 23° N siguiendo la franja costera del Atlántico hacia América del Sur, en donde continúa en un amplio arco desde Venezuela, a través de las regiones amazónicas de Colombia, Ecuador, Perú, Bolivia y Brasil, hasta los 18° S.

Pennington, (2002), las observaciones sobre la ecología de la Caoba indican que en sus estadíos iniciales requiere de bastante luz y protección ante la sombra excesiva. El control de la competencia con especies pioneras por unos 2-3 años le permite crecer rápidamente entre la vegetación secundaria.

Trigoso *et al.*, (2002), el rango de distribución natural de la caoba (*Swietenia macrophylla*) en el Perú comprende el ámbito de 9 regiones del país, estas son de norte a sur las siguientes: Loreto, Amazonas, San Martín, Ucayali, Huanuco, Junín, Cuzco, Madre de Dios y Puno

Barrena y Vargas, (2004), en el Perú, la caoba se encuentra distribuida en las zonas de vida bosque seco Tropical (bs-T) y bosque húmedo Tropical (bh-T), así como en las formaciones correspondientes de la franja Subtropical (bs-S y bh-S) y en las zonas transicionales entre ellas.

A. Ramita con hoja, B. Inflorescencia, C. Fruto y semilla



Figura 1 *Swietenia macrophylla* G. King

***Simarouba amara* Aubl,**

División	: Magnoliophyta
Clase	: Magnoliopsidae
Orden	: Sapindales
Familia	: Simaroubaceae
Nombre científico	: <i>Simarouba amara</i> Aubl,
Nombre común	: “Marupá”, “Cedro blanco”

Encarnación (1983) menciona que comúnmente en el Perú, se le denomina a ésta especie como Marupá; Bolivia: Amaro; Brasil: Marupá, Tamanqueira, Marupauba, Parapaíba, Papariuba, Craiba; Colombia: Marupá; Ecuador: Cuña; Guyana: Simarouba; Guyana Francesa: Simarouba, Marupa, Simarupa; Suriname: Soemaroeba; Panamá: Aceituno; Venezuela: Carruco, Cedro blanco; Inglés: Bitterwood; Francés: Acaju blanc, Bois blanc, Bois de cajú.

Descripción del árbol

Reynel (2003), afirma que los árboles provenientes de bosque natural presentan de 50-100 cm de diámetro y 25-35 m de altura total, con fuste cilíndrico y con ramificación desde el segundo tercio, la base del fuste recto y con raíces redondas. La corteza externa es lisa a agrietada, color marrón claro a gris, el ritidoma suberoso, en placas irregulares. La corteza interna es arenosa de color amarillo blanquecino y de sabor amargo. Además agrega que las hojas son compuestas imparipinnadas, alternas y dispuestas en espiral. Los folíolos son de forma oblonga, de borde entero y nervación pinnada, el ápice a menudo es emarginada. Esta especie es dioica, las inflorescencias son panículas terminales multifloras. Con flores pequeñas, unisexuales y de ovario súpero; frutos drupáceos, oblongoide o elipsoide, de color rojo oscuro a negro. Raramente dos drupas agregados en cada grupo.

Distribución y hábitat

Reynel (2003), señala que el Marupá en su hábitat natural, se distribuye en toda la región amazónica, mayormente debajo de los 700 msnm. El mismo autor agrega que a ésta especie se le observa en ámbitos con pluviosidad elevada y constante; tiene tendencia esciófita y está presente en bosques secundarios y bosques primarios, además se encuentra en suelos arcillosos y ácidos, usualmente fértiles, bien drenados y con baja pedregosidad.

Encarnación, (1983), se le encuentra en bosques primarios desde América central (Antillas menores y costa rica) hasta la amazonia (Perú, Brasil, Bolivia, Venezuela, Colombia y Ecuador), donde ocupa bosque no inundado. En Perú se encuentra en los departamentos de Loreto, San Martín y Ucayali.

A. Ramita con hoja, B. Inflorescencia, D. Fruto y semilla



Figura 2 *Simarouba amara* aubl.

***Schizolobium amazonicum* (Huber ex Ducke)**

División	: Angiospermas
Clase	: Dicotiledoneas
Orden	: Fabales
Familia	: Leguminosas (Caesalpinaceas)
Nombre científico	: <i>Schizolobium amazonicum</i> (Huber ex Ducke)
Nombre común	: “Pino chuncho”, “Pashaco”
Sinónimos Botánicos	: <i>Schizolobium parahyba</i> (Vellozo) Blake
Nombres comunes	: “Pino chuncho”, “Pashaco”
Nombres internacionales:	Cerebó (Bol.), Pinho cuiabano (Bra.), Tambor (Col.), Pashaco (Ecu.), Palo de Judío o Palo de Picho (Mex.)
Nombres comerciales	: Guapuruvu, Quamwood

Descripción del árbol.

Reynel et al (2003), señala que el *Schizolobium amazonicum* (Huber ex Ducke) es una especie cuyo árbol mide de 30-70 cm de diámetro y 18-25 m de altura total, de fuste cilíndrico, con ramificación en el tercer tercio y la base del fuste recta. La corteza externa es lisa a agrietada, color marrón rojizo a grisáceo con ritidoma en placas rectangulares a cuadrangulares pequeñas de 1.5-4 cm de ancho; corteza interna homogénea de color amarillo blanquecino, con olor a legumbre.

El mismo autor menciona que las ramitas terminales con sección circular son de color marrón rojizo a marrón claro cuando secas, de unos 5-10 mm de diámetro, glabras; hojas compuestas bipinnadas, alternas y dispuestas en espiral, el peciolo de 6-12 cm de longitud, el raquis acanalado, las pinnas opuestas, 10-20 pares, los foliolulos oblongos, de 1.5-3 cm de longitud y

0.4-0.7 cm de ancho, enteros, los nervios secundarios 12-14 pares, prominulos en ambas caras, el ápice de los foliolos rotundo y con un diminuto mucrón, la base rotunda, las hojas glabras o finamente pubescentes por el envés; inflorescencias panículas de 20-40 cm de longitud, multifloras, producidas en las ramitas defoliadas; flores de mediano tamaño, hermafroditas, zigomorfas, con cáliz y corola presentes, el pedicelo de 4-10 mm de longitud, el cáliz de 4-5 mm de longitud, la corola amarilla, de 2-2.5 cm de longitud, los estambres de 1-1.5 cm de longitud, el gineceo con un pistilo de ovario súpero y alargado, el estigma inconspicuo; frutos alargados y planos, oblanceolados, con el ápice rotundo, de 8-10 cm de longitud y 2.5-3.5 cm de ancho, la superficie lisa y glabra, color marrón rojizo o marrón oscuro, la semilla única y alada, de forma y tamaño similar al fruto, con el ala lateral. La Figura N° 3, ilustra las características botánicas de esta especie.

Distribución y hábitat

Reynel et al (2003), señala que la especie se encuentra en la región Amazónica, mayormente debajo de los 1200 msnm. Se le observa en ámbitos con pluviosidad elevada y constante, aunque también en ámbitos con una estación seca marcada; es una especie con tendencia heliófita y de crecimiento rápido, presente en bosques secundarios tempranos y tardíos; se le encuentra en claros en el bosque primario; prefiere suelos arenosos a limosos, de fertilidad media a alta, necesariamente bien drenados, con pedregosidad baja a media. Esta especie es muy sensible al anegamiento y no lo tolera, sobre todo cuando es una plántula.

A. Ramita con hoja (x 0,4), **B.** Inflorescencia (x 0,8), **C.** Laminas Foliares (x 1), **D.** Fruto y semilla (x 0,4)

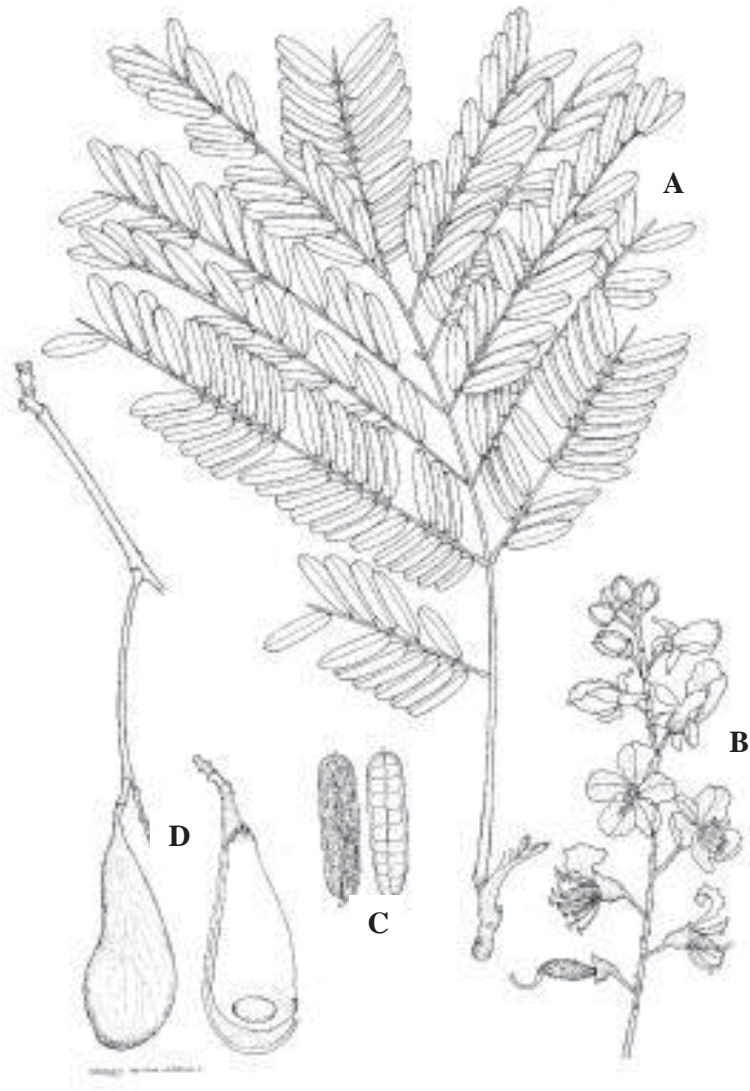


Figura 3 *Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke

2.1 RESISTENCIA DE LA MADERA A LA PUDRICIÓN

2.1.1 SIGNIFICADO Y RELACIÓN CON LA DURABILIDAD DE LA MADERA.

Panshin (1980), afirma que la pudrición de la madera significa la pérdida de cohesión y resistencia mecánica por destrucción o alteración de los componentes principales de la pared celular, debido a la actividad de las enzimas segregadas por los hongos xilófagos.

Cartwright y Findlay (1958), señalan que la Durabilidad Natural es la facultad de permanencia de la madera puesta en servicio. Por ello, esta propiedad implica la resistencia de la madera a la pudrición causada por hongos, el ataque de insectos xilófagos y el deterioro por agentes no biológicos (fuego, desgaste mecánico e intemperismo).

Gonzales, R. (1970), al referirse a la durabilidad natural de 53 maderas de Yurimaguas clasifica a las especies de *Cedrelinga cateniformis* (tornillo), *Brosimun paraense*, *Caryocar coccineum* como altamente resistentes; *Guatteria chlorantha* (carahuasca), *Perebea chimmicua*, *Hymenaea oblonguifolia* como moderadamente resistentes; y *Simarouba amara* (marupa), *Crotón matourensis*, *Matisia bicolor* como no resistentes, además de muchas otras propias de la zona con distintas durabilidades.

Gonzales, A. (1998), estudió la durabilidad adquirida de tres maderas siendo una de ellas marupa (*Simarouba amara*), clasificado por Gonzales, R. (1970), como no resistentes para el caso de la durabilidad natural. Sin embargo, cuando se le sometió al tratamiento con sales CCB pasó a tener un muy bajo porcentaje de pérdida de peso, ubicándose como altamente resistente dentro de las pruebas de durabilidad adquirida. De esta forma demostró la importancia de la preservación de la madera.

Arostegui (1970), se refiere a marupa como una madera de color crema con tinte amarillo verdoso, de albura y duramen muy poco diferenciado, de baja dureza, con textura media uniforme y de sabor amargo. La madera es liviana, de baja contracción comparable con la de caoba, pero con una durabilidad natural muy baja siendo susceptible al ataque biológico. Por ser de buena trabajabilidad, la recomienda para embalajes, carpintería ligera y molduras.

Gonzales, R. (1970), indica que el color y el peso de la madera son índices con muchas excepciones de la durabilidad natural de la madera y así señala que existen maderas bastante livianas como la caoba (*Swietenia macrophylla*), el cedro (*Cedrela odorata*) y el tornillo (*Cedrelinga cateniformis*), todas de alta durabilidad natural, mientras que otras maderas más pesadas como la copaiba (*Copaifera officinalis*) que además posee color oscuro resulta de baja o moderada durabilidad natural. Es decir, que atribuye la durabilidad natural de la madera a los componentes o extractivos que cada una de ellas posa y no los colores ni al peso.

Encarnación (1983), al referirse a la madera de marupa que es de rápido crecimiento y proviene de bosques inundados indica que no fija sustancias amargas o tóxicas durante su crecimiento, por tal razón esta madera no tiene suficientes defensas frente al ataque de los hongos xilófagos. Además, indica que esta madera es de rápido crecimiento y que proviene de bosques no inundados.

2.1.2 IMPORTANCIA DE LA DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA DE LA MADERA A LA PUDRICIÓN.

Kollman y Coté (1984), en relación a la importancia del conocimiento de la durabilidad natural, recomienda el uso de la madera sin tratamiento preservador, definir los niveles de toxicidad del preservante así como elegir y aplicar correctamente las técnicas de preservación de la madera.

Clément (1990) y Lock (1994), coinciden e indican que la durabilidad natural nos conduce al conocimiento de los compuestos químicos que confieren toxicidad natural de las maderas, permitiéndose aislar y diseñar reacciones para biosintetizarlos en laboratorio.

Soares (1971), indica que los hongos y termitas fueron los principales agentes destructores de la madera en cinco campos de prueba ubicados en el estado de Sao Paulo. Siete de los nueve géneros de los hongos encontrados pertenecen a la familia Poliporaceae y seis de los ocho géneros de termitas pertenecen a la familia Termitidae.

La Asociación Brasileña de Preservadores de la Madera (1970) y Santini (1988), coinciden en señalar que los hongos xilófagos son responsables de la degradación de volúmenes importantes de madera en contacto con el suelo y/o expuesta a la intemperie, limitando su comercio nacional e internacional. Por ello es consenso estimar la durabilidad natural de la madera en base a índices de resistencia a la pudrición.

Darrel (1973), citado en Kollman y Coté (1984), el conocimiento de la durabilidad natural o resistencia de la madera a la pudrición ayuda a prevenir importantes pérdidas causadas por la susceptibilidad de la madera al ataque de hongos xilófagos; por ello es importante la clasificación de la madera por la resistencia a la pudrición, para condicionar su utilización y lograr el aprovechamiento integral del bosque.

Rodríguez (1976), manifiesta que las maderas muy durables pueden ser utilizadas con confianza para estructuras permanentes en contacto con el suelo o con el agua como: pilotes de muelle, durmientes, maderas de fundación y postes de cerco.

2.1.3 MÉTODO DE DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA DE LA MADERA A LA PUDRICIÓN.

Cartwright y Findlay (1958), indican que la validez de los ensayos de laboratorio están plenamente respaldados por la Sociedad Americana de Prueba de Materiales (ASTM) y la Asociación Americana de Perservadores de la Madera (AWPA), con sus respectivas normas para ensayos de resistencia de la madera a la pudrición, las cuales son coincidentes.

El estudio de la durabilidad natural de la madera en cementerios de estacas, si bien proporciona datos precisos, requieren años de evaluación y alta inversión. De ahí la importancia de los métodos de laboratorio que en el lapso de tres meses permite obtener índices de resistencia de la madera a la pudrición (Scheffer y Duncan, 1947, citado por Martínez ,1952).

Soares (1971), indica que la evaluación de la durabilidad natural y resistencia de la madera a la pudrición en función de la pérdida de leño expresado en porcentaje del peso seco inicial, es muy empleada por ser un método sencillo, rápido y aplicable en maderas susceptibles con gran deterioro.

Hunt y Garratt (1952), señalan que la literatura existente sobre durabilidad natural e índices de resistencia de la madera a la pudrición, así como la experiencia adquirida en diversos países, demuestra que existe una buena correlación entre los resultados obtenidos en cementerios de estacas y los de laboratorio.

2.2 PUDRICIÓN DE LA MADERA POR HONGOS XILÓFAGOS.

2.2.1 FACTORES INDISPENSABLES PARA EL DESARROLLO DE HONGOS XILÓFAGOS.

A) GRADO DE HUMEDAD

Durán y Tuset (1980) así como Martínez (1952), señalan que la humedad es un factor indispensable para la actividad fisiológica de los hongos xilófagos, como:

- a) Germinación de las esporas.
- b) Secreción de las enzimas fúngicas.
- c) Disolución del sustrato leñoso.
- d) Absorción y transporte de sustancias nutritivas.
- e) Constitución de nuevos tejidos.

Los mismos autores; afirman que la condición óptima de humedad para el crecimiento del hongo se sitúa por encima del punto de saturación de las fibras, entre 30 y 50%, donde puede efectuarse la libre difusión de las enzimas y de los productos resultantes de su acción y exista suficiente espacio para la circulación de los gases.

Kollmann y Coté (1984), informan que la falta de humedad conduce a serias alteraciones como:

1. El micelio aéreo reduce su volumen, se arruga y finalmente acaba por morir.
2. Las hifas que se encuentran en el interior de la madera resisten más tiempo pero también terminan por perder su vitalidad en la mayoría de los hongos si persiste el estado de sequedad.

Panshin (1980), afirma que el laboratorio de Productos Forestales de U.S.A. determinó sobre la base de numerosas pruebas que el crecimiento del hongo es retardado entre el 25 y 30% de contenido de humedad y detenido en 20%.

Hunt y Garratt (1952) y Panshin (1980), señalan que el periodo de tiempo bajo condiciones secas en que las hifas pueden permanecer vivas, varían según los hongos, y en ciertos casos es cuestión de años, manteniéndose en latencia en espera de mejores condiciones de desarrollo.

B) TEMPERATURA

Martínez (1952), indica que el crecimiento en longitud de los hongos xilófagos es directamente proporcional a la temperatura y el tiempo, iniciándose generalmente a unos 3° C. a medida que la temperatura se eleva, la velocidad de desarrollo aumenta linealmente hasta llegar al óptimo de crecimiento, a partir del cual sigue una brusca disminución cesando por completo a una cierta temperatura, que para la mayoría de las especies está por debajo de los 38° C.

Hunt y Garratt (1952) y Panshin (1980), señalan que los hongos xilófagos son capaces de crecer dentro de amplios límites de temperatura, pero se desarrollan con mayor rapidez durante los periodos más cálidos y más húmedos del año.

Durán y Tuset (1980), manifiestan que los hongos necesitan una temperatura óptima para llevar a cabo su actividad vital, encontrándose dicha temperatura entre los 20° y 30° C.

Panshin (1980), determinó que temperaturas inferiores a los 0° C y superiores a los 38° C, aunque inhiben el crecimiento de los hongos, no los matan inmediatamente.

Kollmann y Coté (1984), señala que Rumbold determinó que el *Coniohora cerebella* resistía sin morir a temperaturas de -10° C durante 12 horas y el hongo *Merilius lacrimans* mure al estar 12 horas a -6° C.

C) SUMINISTRO DE AIRE

Martínez (1952) y Kollmann y Coté (1984), sostienen que los hongos xilófagos esencialmente presentan respiración aeróbica y puede representarse convencionalmente, tomando como base la oxidación de una molécula de glucosa:



Fougerousse (1960), manifiesta que los hongos de pudrición son organismos aeróbicos, es decir requieren oxígeno para su respiración y este lo reciben del suelo que a su vez lo obtiene de la atmósfera. Asimismo añade que no excluye la posibilidad de que en ciertas circunstancias pueden vegetar en medios anaeróbicos.

Durán y Tuset (1980), señalan que la necesidad de aire, aunque pequeña es indispensable. Explicándose así la gran duración de maderas enterradas profundamente o aquellas que totalmente están sumergidas en agua.

Hunt y Garratt (1952) y Martínez (1952), afirman que el hongo causante de la pudrición de la madera no se puede desarrollar en condiciones anaeróbicas y es preciso que exista una cantidad de aire equivalente a más del 20% del volumen de madera. Asimismo, indican que existe una relación natural entre la cantidad de agua y aire en la madera y su propensión a la pudrición, pues la madera saturada de agua carece de aire suficiente para el desarrollo de los hongos y por consiguiente no se pudre a profundidades de 1,5 a 2 metros. En suelos densos y compactos el hongo es incapaz de provocar pudrición.

Kollmann y Coté (1984), indican que la proporción de anhídrido carbónico del aire que rodea al hongo, si es superior al 19% retrasa su crecimiento y si esta al 60% lo detiene totalmente.

D) SUSTANCIAS NUTRITIVAS

Durán y Tuset (1980), afirman que la madera es alimento de los hongos en la mayoría de los casos y aunque estos no puedan alimentarse directamente de ella, lo hacen mediante la acción de enzimas que ellos mismos segregan, descomponiéndola en sustancias más simples y fácilmente asimilables.

Rodríguez (1976), indica que los hongos se alimentan de las sustancias nutritivas del contenido celular y de los componentes de las paredes de las células leñosas.

Smith (1970), señala que el hongo requiere de una fuente de carbono para la síntesis de los constituyentes protoplasmáticos, además de otros elementos como hidrógeno, nitrógeno, oxígeno, fósforo y azufre. A diferencia de las plantas superiores, el hongo utiliza una fuente de carbono orgánico en lugar de dióxido de carbono. La mayoría de los hongos tiene la capacidad de utilizar la glucosa, habiendo otros que se surten de carbón a través de sacarosa, maltosa, almidón y celulosa.

Hunt y Garratt (1952), manifiestan que son pocos los hongos (o tal vez ninguno) capaces de atacar a toda clase de madera, algunos hongos reducen su acción en cierto grupo de maderas, mientras hay otros que se limitan a una sola especie. Sin embargo, hay maderas que pueden ser atacadas por una serie de hongos a la vez.

Martínez (1952), señala que el **pH** óptimo del sustrato para que el hongo logre su óptimo desarrollo está entre 4,5 y 5,5.

2.2.2 PROCESO DE PUDRICIÓN DE LA MADERA.

Durán y Tuset (1980), indican que las esporas de los hongos xilófagos se encuentran en gran abundancia en el aire y en la tierra, esperando condiciones favorables para su germinación. Asimismo, indican que una vez infectada la madera emergen las hifas, las cuales se propagan en la madera por procesos mecánicos y químicos, llegando a formar micelio y posteriormente el cuerpo fructífero.

Panshin (1980), indica que la hifa penetra en la madera a través del apresorio que ejerciendo presión penetra mecánicamente y cuando segrega enzimas que convierten sustancias insolubles en forma solubles penetra químicamente.

Hunt y Garratt (1952), señalan que las hifas infectivas de los hongos, se extienden por la madera, pasando de célula en célula, buscando aberturas naturales o taladrando orificios en las paredes celulares.

Rodríguez (1976), afirma que la madera afectada por la pudrición cambia de color tomando coloraciones oscuras a claros con pérdida de sus propiedades físicas y mecánicas.

Alexoupulos (1964), menciona que en la etapa avanzada de la pudrición, la madera se torna blanda, esponjosa, espinosa o fácilmente disgregable, según la naturaleza del hongo atacante y la extensión de su destrucción, añade que esto sucede cuando las paredes de las células se desintegran al degradarse la lignina y/o celulosa.

La velocidad de propagación del hongo en la madera una vez comenzada la pudrición depende del mantenimiento de las condiciones que favorece el desarrollo del hongo atacante (Hunt & Garratt, 1952, citado en Alexoupulos, 1964).

2.2.3 PUDRICIÓN BLANCA Y MARRON

Gálvez (2001), señala que la estrategia de los hongos de pudrición blanca es descomponer la lignina de la madera para tener acceso a las poliosas y celulosa que están integradas en la matriz de lignina.

Akhtar *et al.*, (1997), mencionan que los hongos de pudrición blanca que atacan simultáneamente todos los componentes de la pared celular causan una erosión localizada de todas las capas de la pared, extendiendo su ataque a través de las capas de la pared secundaria y lamina media. En fases avanzadas de pudrición, las paredes celulares son erosionadas extensamente, y con frecuencia se observan numerosas perforaciones en las paredes de células adyacentes. Una forma diferente de ataque a la pared celular se puede observar en los hongos

de pudrición blanca que degradan selectivamente la lignina. La hifa en el lumen de la célula degrada progresivamente la lignina, desde el lumen junto a la pared secundaria hacia la lamela media. Como el proceso de deslignificación continúa, la lamela media es degradada y las células son separadas. La deslignificada pared secundaria rica en celulosa permanece relativamente inalterada. La degradación de la lignina se hace extensa a lo largo de las paredes de la célula, originándose de sólo uno o dos filamentos hifales en cada lumen de célula.

Kuhad *et al.*, (1997), señalan que varias investigaciones indican que los hongos de pudrición blanca degradan la lignina de la pared secundaria antes de que la lamina media sea degradada. Es así como se ha demostrado que éstos frecuentemente causan un adelgazamiento progresivo de la pared de la célula, comenzando desde el lumen y continuando hacia la lamela media.

Akhtar *et al.*, (1997), indican que la degradación de la madera puede estar influenciada por el sustrato lignocelulósico. Un factor importante que regula la magnitud y tasa de pudrición es la cantidad y tipo de lignina presentes en la madera. Es así como estudios que evalúan la pudrición causada por estos hongos en diferentes tipos de madera, señalan una mayor y más rápida degradación de madera de latifoliadas que de coníferas, la que parece estar influenciada por el contenido de lignina siringil en la madera de latifoliadas.

Colonelli (1996), describe el ataque de estos hongos desde el lumen de la célula hacia la lámina media, degradando tanto zonas que rodean las hifas como aquellas alejadas de éstas.

Kuhad *et al.*, (1997), mencionan que los hongos de pudrición blanca crecen en los diferentes tipos de células de coníferas y latifoliadas. La hifa del hongo entra en el lumen de la célula, primero colonizando las células de los radios parenquimáticos, y luego pasa de célula a célula vía puntuaciones o por perforaciones directamente a través de la pared de la célula. Inmediatamente después de que los nutrientes fácilmente metabolizables se han agotado, comienza la degradación de la pared de la célula.

Según Blanchette (1991), citado por Worrall (1997), es posible distinguir dos formas de pudrición blanca. En deslignificación selectiva, las poliosas (hemicelulosas) y lignina son preferentemente atacadas, especialmente en fases tempranas. El efecto anatómico más notable es la desfibración por la disolución de la lamela media. En pudrición blanca simultánea, carbohidratos y lignina son atacados más o menos uniformemente. En este caso, la erosión de

la pared de la célula en la superficie del lumen es un rasgo anatómico prominente. Estas dos formas de pudrición blanca pueden ser causadas por un hongo en diferentes partes de una misma pieza de madera.

Franca *et al.*, (1986), indican que la pudrición blanca es producida por hongos degradantes de la lignina, dejando un residuo blanquecino. Asimismo, señalan que estos hongos son aptos para metabolizar los mayores componentes de la madera.

Fengel y Wegwerner (1984), indican que la variación en la composición de lignina es mucho mayor en latifoliadas que en coníferas; el contenido de siringil de la lignina guayacil-siringil (GS) de una latifoliada típica varía entre 20% y 60%, siendo este rango más amplio en las plantas herbáceas (10-65%). Además, señalan un alto contenido de oxígeno en la lignina de latifoliadas, lo que es a la vez provocado por su alto contenido de grupos metoxilo.

Pesutic (1978), define la pudrición blanca como la acción bioquímica preferencial del sistema enzimático fungoso en la ingestión de uno de los principales componentes de la pared celular leñosa, la lignina, lo cual eleva la tasa relativa de celulosa, dejando un tejido residual marcadamente celulósico, de color blanco. En relación al aspecto morfológico de este ataque, generalmente obedece a las formas: Fibrosa (fibras leñosas blandas como residuo), Alveolar (focos puntuales de ataque) y Anular (fraccionamiento en capas o anillos).

Roff y Whittaker(1959), observaron una marcada diferencia en tolerancia a la toxicidad de productos químicos entre los hongos de pudrición blanca y marrón. Determinando que los hongos de pudrición marrón son más sensibles, siendo su punto fungicida en pentaclorofenato de sodio el 0,002%, el cual solo inhibió a los hongos de pudrición blanca, requiriéndose concentraciones de 0,07% para causar la muerte del *Polyporus versicolor*.

Cartwright y Flinday (1958), indican que los hongos causantes de la pudrición blanca, donde todos los componentes de la pared celular son atacados, pueden destruir totalmente la madera, mientras que los hongos causantes de la pudrición marrón, al no poder degradar la lignina, la máxima pérdida de leño que pueden causar es cercana al 70% del peso seco original.

Kollmann y Coté (1984) así como Rodríguez (1976), afirman que la pudrición blanca y marrón son causadas por hongos xilófagos de la clase Basidiomycetes, principalmente de las

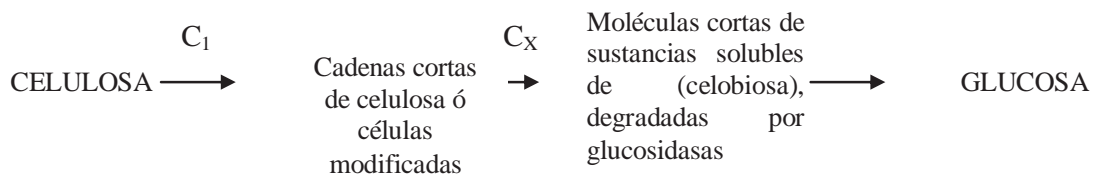
familias Polyporaceae y Agaricaceae, los cuales se alimentan del contenido y los componentes de la pared de las células leñosas. La mayoría de los hongos que causan pudrición pertenecen a los *Basidiomycetes*. Los hongos de pudrición blanca son los únicos que pueden atacar todos los componentes de la pared celular de las plantas. Kuhad *et al* (1997) indican que el patrón normal de pudrición de madera causada por estos hongos involucra el ataque simultáneo sobre ambos componentes, polisacáridos y lignina. Sin embargo, la habilidad de ciertos grupos de hongos para remover eficientemente la lignina de la madera los hace particularmente interesantes en aplicaciones industriales donde la lignina u otros compuestos fenólicos necesitan ser modificados o eliminados. Algunos hongos de pudrición blanca, como *Phanerochaete chrysosporium* y *Trametes versicolor* tienen un modo de degradación de la madera no selectivo, es decir, ellos degradan celulosa, hemicelulosa y lignina simultáneamente, mientras otros como *Phlebia tremellosa*, *Ceriporiopsis subvermispora* y *Phellinus pini* degradan preferentemente la lignina.

Akande (1990), manifiesta que los hongos de pudrición marrón despolimerizan la celulosa más velozmente del que ellos pueden metabolizar los productos de la degradación. En cambio, los de pudrición blanca si bien tiene preferencia por la lignina, remueven todos los componentes de la pared celular, despolimerizando los productos de la degradación.

Sing and Kim (1997), los hongos de pudrición marrón atacan a la celulosa que es rápidamente despolimerizada, aún en la etapas más tempranas de la pudrición y así la pérdida de la resistencia puede ser muy grande. Durante la pudrición de los carbohidratos son extensivamente despolimerizados y removidos. Además, la lignina también puede ser modificada, aunque residuos de la lignina permanecen. La degradación de la madera aparece marrón debido a la gran presencia de lignina.

2.2.4 ACTIVIDAD ENZIMÁTICA DE LOS HONGOS XILÓFAGOS

Kollmann y Coté (1984), manifiestan que la celulosa se transforma hidrolíticamente en glucosa, la citasa disocia las hemicelulosas y la hadromasa suele descomponer la lignina; análogamente las dipasas disocian las grasas de los hongos en ácidos grasos libres y glicerina, y las enzimas proteolíticas como la tripsina descomponen la albúmina en un aminoácido. En tejidos de hongos superiores se hallan enzimas que descomponen el azúcar y el almidón. Las enzimas C_x tienen la habilidad para atacar los enlaces glucosídicos rompiendo las cadenas largas para transformarlas en otras más pequeñas, asimilables por los hongos. Las fases de esta degradación son las siguientes:



Pesson (1978), indica que los hongos lignívoros segregan numerosas enzimas como celulasas, hemicelulosas, ligninasas y peptidasas que le permiten atacar las membranas celulares lignificadas.

Rodríguez (1976), indica que los hongos xilófagos son capaces de producir una acción de pudrición en la madera, esta acción es debida a una actividad enzimática del micelio sobre las paredes de las células leñosas. Asimismo, las enzimas son compuestos nitrogenados que actúan como catalizadores, produciendo transformaciones químicas en las sustancias orgánicas sin sufrir descomposición propia y su actividad suele ser selectiva.

Cartwright y Flinday (1958), afirman que las enzimas que los hongos producen para disolver el sustrato gobiernan en gran medida su capacidad para utilizar como alimento ciertas sustancias, las cuales son absorbidas por ósmosis según las leyes generales de diferencia de presión osmótica.

2.3 RAZONES DE LA RESISTENCIA DE LA MADERA A LA PUDRICIÓN.

2.3.1 PRINCIPIO ACTIVO TÓXICO.

Durán y Tuset (1980), manifiestan que la madera de albura y duramen presentan distintas resistencias a los organismos de deterioro; en la albura suele encontrarse sustancias de reserva como azúcares y almidones que la hacen apetecible por los organismos xilófagos, en cambio en la madera de duramen, según la especie considerada mostrará una mayor resistencia al contener otros tipos de sustancias propias del proceso de duramización como: aceites, taninos, gomas y sustancias hidrosolubles de alta toxicidad.

Panshin (1980), indica que muchas maderas pesadas son altamente durables, esto podría sugerir que la densidad de la madera puede ser un criterio de resistencia a la pudrición, sin embargo esto no es cierto, porque no existe correlación aceptable entre ellas.

Rengifo (1990) y Trujillo (1985), determinaron que la resistencia a la pudrición puede estar correlacionada con las variaciones de la densidad si estas variaciones son debidas a la acumulación de extractivos. Debido a que existe una alta correlación entre el contenido de extractivos y la resistencia de la madera a la pudrición causada por hongos xilófagos.

Martínez (1952) y Panshin (1980), afirman que la toxicidad de los extractivos fue probada por lixiviación de maderas de duramen muy resistentes a la pudrición, invariablemente las maderas así extraídas se pudrieron más rápidamente y los extractivos obtenidos detenían ó inhibían la actividad de los hongos xilófagos en pruebas biológicas de toxicidad.

Cartwright y Findlay (1958) así como Quinde (1984), manifiestan que si bien es cierta la existencia de una alta correlación entre el contenido de extractivos de la madera y su resistencia a la pudrición, la verdadera causa de dicha correlación es la presencia de uno o más principios activos tóxicos entre los componentes de los extractivos.

2.3.2 RAZONES SECUNDARIAS DE LA RESISTENCIA DE LA MADERA A LA PUDRICIÓN.

Kollmann y Coté (1984), señalan que la lignificación de las paredes celulares reducen la susceptibilidad de la madera a la pudrición, dado que la lignina constituye una barrera física para el ataque enzimático sobre los polisacáridos; por lo cual sólo serán capaces de destruirla los organismos que posean enzimas capaces de degradar la lignina o alterar la asociación con los polisacáridos.

Morrel y Zabel (1987), encontraron que la deslignificación parcial de la madera disminuye su resistencia a la pudrición; así al someterla previamente a tratamientos de deslignificación, la pérdida de leño inducida por los hongos de pudrición marrón se incrementaron por estar la microfibrillas de la celulosa más expuestas a la acción enzimática.

Panshin (1980), informa que la acción de despolimerización de las enzimas se restringe principalmente a la región amorfa de la celulosa, por poseer la humedad necesaria para los procesos de difusión.

Martínez (1952), manifiesta que la presencia del nitrógeno es necesaria para el desarrollo del hongo xilófago y que la madera contiene entre 0,01 a 0,03% de nitrógeno. Asimismo, indica que la adición de nitrógeno orgánico e inorgánico acelera la degradación de la madera.

2.3.3 COMPOSICIÓN DE LOS EXTRACTIVOS DE LA MADERA.

Contenido de Extractivos

Hillis citado por Quinde (1984), define al contenido de extractivos como constituyentes no estructurales o secundarios de las plantas que pueden ser removidos generalmente con solventes orgánicos neutros.

García *et al.*, (2003), dice que el contenido de extractivos son sustancias que pueden extraerse de la madera por medio de un solvente adecuado o por la destilación al vapor, sin afectar la composición de la pared celular.

Arostegui (1976), menciona que todas las especies de madera y la mayoría de los vegetales contienen cantidades variables de sustancias químicas diferentes a los carbohidratos y a la lignina que constituyen la pared celular. Los nombres de estas sustancias varían, de acuerdo al punto de vista y los objetivos del estudio:

- Sustancias extraíbles o solubles.
- Extractivos.
- Sustancias volátiles, porque muchas de estas sustancias son volátiles o imparten características de olor a la madera.

Flores (2003), afirma que existe una considerable variación en la distribución de los extraíbles en un árbol; ellos se encuentran distribuidos en follaje, madera, corteza y raíces. La corteza y las raíces son las partes donde se encuentran en mayor concentración.

Pinedo (1999), en un estudio sobre extractivos de corteza de *Spondias mombin* L. (ubos) y *Maytenus Krukovii* (chuchuhuasha), por el método de maceración, concluye que el rendimiento promedio fue de 18,93 % y de 20,08 % respectivamente y por el método de ebullición en agua concluye que el rendimiento promedio fue de 13,81 y 13,94% respectivamente.

Pérez (1999), en un estudio sobre análisis preliminar de los extractivos de corteza de *remo caspi* y renaquilla, concluye que el rendimiento por el método de maceración hidroalcohólica es de 11,82 y 12,46 % respectivamente. Además concluye que el rendimiento del contenido de extractivos por el método de ebullición con agua es de 6,31 y 26,43 % respectivamente.

Taranco y Cabudivo (1995), en un estudio químico preliminar de cinco especies vegetales, determinaron los rendimientos de extractivos utilizando el método de destilación con agua; con muestras de cortezas obtuvieron rendimientos entre 16,21 a 25,00%, mientras con muestras de madera de aceite caspi, chiric sanango y uña de gato obtuvieron un rendimiento de 10,00, 11,5

y 3,23 % respectivamente. Por otra parte los mismos autores, utilizando el método de maceración con solución hidroalcohólicas con las mismas especies durante 2, 4 y 6 semanas, obtuvieron rendimientos de 8,41, 11,32 y 19,94 % en cada especie, respectivamente.

Trujillo (1992), al estudiar el índice de resistencia de maderas determinó que los compuestos de naturaleza flavonoide y taninos condensados tienen propiedades fungitóxicas, que afectan al desarrollo de los hongos.

Quinde (1984) citado por Clément (1990), indican que los compuestos extractables de la madera pueden agruparse en metabolitos primarios como: proteínas, ácidos grasos, polisacáridos, etc.; en metabolitos secundarios como: alcaloides, esteroides, terpenoides, flavonoides, taninos y otros compuestos fenólicos. Encontrándose, en estos últimos los llamados principios activos tóxicos de la madera.

JUNAC (1988), considera algunas maderas contienen los polifenoles que son de mayor importancia, tales como los ácidos shiquímico, cinámico y caféico. Además indica, que existen más de veinte compuestos muy tóxicos para los organismos biológicos que afectan a la madera.

Trujillo (1985), Yataco (1986), Escuza (1987), González (1992), Tadeu de Lilis y Silva, (1986), coinciden en indicar que el contenido de extractivos determina en forma significativa su resistencia a la pudrición y que la densidad de la madera no presenta correlación con la resistencia de las mismas.

Cartwright & Findlay (1958), señalan que Waterman, al examinar la toxicidad de extractivos con los hongos *Lenzites trabea* y *Poria monticola* solubles en agua de 35 especies tropicales, concluyó que los índices obtenidos con respecto a la resistencia de las maderas a la pudrición fueron muy generales.

Scheffer y Duncan (1947), manifiestan que las maderas durables de Malasia presentan un mayor porcentaje de extractivos solubles en alcohol-benceno que las no durables, afirmando que las maderas con más del 5% de extractivos solubles en alcohol-benceno son muy resistentes a la pudrición, siempre y cuando la naturaleza del extracto sea principalmente fenólico.

2.3.4 METABOLITOS CELULARES

Metabolitos Primarios

Harborne (1999b), menciona que los metabolitos primarios como azúcares, proteínas, aminoácidos, ácidos nucleicos, clorofilas, etc. Son constituyentes universales presentes en todas las plantas.

Metabolitos Secundarios

Espinoza (2001), sugiere que el papel de los metabolitos secundarios en defensa de las plantas dependen de dos factores: la asignación de recursos (metabolitos secundarios) y la diversidad de metabolitos. La diversidad de los metabolitos secundarios cumple un rol importante en la ecología evolutiva entre plantas y depredadores, como los insectos. La acumulación de ciertos metabolitos secundarios puede impedir la evolución de ciertos depredadores o por el contrario servir como marcadores taxonómicos llevando la relación planta-herbívoro a una hiperespecialización (Leland et al., 2006; Speight, 1999; Walhberg, 2001)

Harborne (1999b), señala que los metabolitos secundarios contienen componentes químicos no incluidos dentro de los metabolitos primarios, sustancias que aparentemente cumplen un rol esencial en el metabolismo vegetal y cuya distribución varía de acuerdo a factores taxonómicos y bióticos. Un sistema de clasificación más adecuado de los metabolitos secundarios está en función a su biogénesis u origen biosintético. Bajo esta premisa, se pueden clasificar los compuestos fitoquímicos en 3 principales grupos biogénicos: terpenoides, alcaloides (compuestos nitrogenados) y compuestos fenólicos.

Lock (1994), afirma que un gran porcentaje de los principios activos de la planta están comprendidos dentro de los llamados metabolitos secundarios, que son compuestos químicos de estructura relativamente compleja y de distribución más restringida que los llamados metabolitos primarios, los cuales están universalmente distribuidas y participan en la actividad celular de todo ser viviente.

Esta misma autora señala, que una serie de métodos han sido desarrollados para el análisis fitoquímico de los metabolitos secundarios, basados en su extracción con solventes apropiados y en la aplicación de pruebas de coloración.

Langenheim (1984), Rosenthal y Berenbaum (1991) y Salisbury (2000), coinciden en indicar sobre la función que desempeñan los metabolitos secundarios en las plantas que los metabolitos secundarios son esenciales en los mecanismos de defensa, crecimiento y reproducción de la planta. Es decir, una alta diversidad de metabolitos secundarios indica un estado de defensa alto. Sin embargo, esta teoría no toma en cuenta que muchas veces el mecanismo de defensa de las plantas no está regulado por un solo metabolito secundario sino por la acción sinérgica del conjunto de ellos.

2.3.4.1 CARACTERISTICAS DE LOS PRINCIPALES GRUPOS DE METABOLITOS SECUNDARIOS

A) ALCALOIDES

Harborne (1999a), menciona que son compuestos básicos nitrogenados como parte de un anillo heterocíclico, generalmente están mayormente distribuidos en plantas, pero han sido reportados también en sustancias excretadas por animales. Estas sustancias poseen una amplia gama de estructuras y actividades fisiológicas que no es alcanzada por ningún otro grupo de productos naturales. La acción de los alcaloides en las plantas no ha sido definida claramente, aunque se cree que actúan como repelentes de la herbivoría o que pueden ser una forma de almacenar nitrógeno.

B) SAPONINAS

Valencia (1995), indica que las saponinas son glicósidos de alcoholes tanto triterpenoides como esteroides con una cadena lateral espiroacetal. Las agliconas de las saponinas, que se obtienen por hidrólisis ácida, se denominan sapogeninas. Son sustancias solubles en agua y etanol, tensoactivas con propiedades similares a los jabones, lo que explica su nombre. Producen

espuma cuando se agitan con agua, tienen la propiedad de ser hemolíticas, son la materia prima para la síntesis de hormonas esteroidales.

C) FLAVONOIDES

Lock (1994), Valencia (1995), coinciden en indicar que los flavonoides constituyen el grupo de metabolitos secundarios más numeroso y distribuido en las plantas. Son estructuras derivadas del núcleo aromático 2-fenilbenzopirano y están arreglados bajo el sistema C₆-C₃-C₆. Estas sustancias se encuentran con frecuencia en forma de glicósidos. La principal función de los flavonoides además de ser la mayoría pigmentos presentes en flores y frutos, es de atraer insectos y animales con fines de polinización y dispersión de semillas. La acción es de ser protectora de la planta.

D) TANINOS

Valencia, (1995), indica que los taninos son compuestos fenólicos ampliamente distribuido en las plantas, sobretodo en especies leñosas. Tienen la propiedad de reaccionar con proteínas formando copolímeros insolubles en agua. Forman precipitados de color azul oscuro o negro verdoso con las sales férricas. Debido a su sabor astringente, su principal función es proteger a la planta de la herbivoría.

Harborne, (1999a), indican que existen dos tipos de taninos: los taninos condensados o proantocianidinas, como la procianidina, y los taninos hidrolizables, como el ácido gálico. Ambos tipos de taninos se encuentran distribuidos en el reino vegetal, sin embargo, los taninos hidrolizables están restringidos a las plantas dicotiledóneas.

2.4 NORMALIZACIÓN

INDECOPI (1996), reedito la Norma Técnica ITINTEC 251.027 DE 1972 titulado: Valor tóxico y permanencia de preservadores de la madera en condiciones de laboratorio. Esta Norma Técnica trata todo lo relacionado para disminuir el ataque de los enemigos xilófagos, y en especial de los hongos. También incluye una descripción del ensayo donde recomienda usar

hongos de comprobada acción xilófaga, que tengan tolerancia a las sustancias químicas preservadoras, cultivados bajo condiciones de laboratorio.

ASTM (1995), en su norma D 1413-76: Standard Test Method for wood Preservatives by Laboratory Soil- Block Cultures, indica que las especies de hongos xilófagos recomendadas para albura de coníferas son: *Lentinus lepideus*, *Gloeophyllum trabeum* y *Poria placenta*. Y las recomendadas para el albura de latifoliadas son: Los hongos anteriores y *Coriolus versicolor*.

Eaton y Hale (1993), dicen que entre los métodos de laboratorio con Basidiomycetes, existen dos corrientes muy generalizadas, el método americano y el método europeo. El método americano, usa el suelo como medio de soporte para el crecimiento de los hongos en los bloques de madera tratados. Se utilizan hongos como *Lentinus lepideus*, *Gloeophyllum trabeum*, *Olygoporus placenta* o *Trametes versicolor*, los cuales son incubados durante tres semanas para establecer un cultivo satisfactorio. Por otro lado el método europeo utiliza extracto de malta agar como medio estándar para cualquier cultivo. La Norma Europea EN 113 requiere de dos hongos obligatorios, para pudrición marrón, el hongo *Coniophora puteana* y para la pudrición blanca el hongo *Trametes (Polyporus) versicolor*. Pueden ser incluidos hongos adicionales como: *Lentinus lepideus*, *L. cyathiformis*, *Olygoporus placenta*, *Gloeophyllum trabeum*. Ambos métodos el americano y el europeo intentan simular las condiciones de servicio que pueden prestar las maderas evaluadas.

ASTM(1990), uniendo sus experiencias con la norma ANSI , crea la Norma Técnica ANSI/ASTM D 2017-90: Standard Method of Accelerated Laboratory Test of Natural Decay Resistance of Woods, para la evaluación de la pudrición natural producidas por hongos en maderas o productos de madera, estas pruebas aceleradas de laboratorio se deben ensayar en cubos de madera, sobre suelo cubierto por una tira de alimentación de madera susceptible al ataque de hongos, colocados en frascos como cámaras de pudrición. La evaluación de resultados, se realiza mediante la pérdida de peso del material leñoso, estableciendo cuatro categorías para clasificar que se presenta a continuación:

<i>Promedio de Pérdida de Peso (%)</i>	<i>Promedio de Peso Residual (%)</i>	<i>Grado de Resistencia al hongo Xilófago</i>	<i>Clasificación de la Madera</i>
0-10	90-100	Altamente Resistente	A
11-24	76-89	Resistente	B
25-44	56-75	Moderadamente Resistente	C
45 en adelante	55 o menos	No Resistente	D

Fuente: Norma técnica ANSI /ASTM D 2017-90

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 LUGAR

El presente trabajo se realizó en el Laboratorio de Micología del área de Sanidad Vegetal del Servicio Nacional de Sanidad Agraria (SENASA), nos proporcionó los hongos xilófagos en estudio mientras el análisis Fitoquímico se realizó en el Laboratorio de Pulpa y Papel del Área de Transformación Química de la Madera, Departamento de Industrias Forestales de la Universidad Nacional Agraria La Molina.

3.2 MATERIALES Y EQUIPOS

3.2.1 MATERIALES

3.2.1.1 MADERA

Para el presente estudio se empleó la madera de tres especies forestales de las cuales *Simarouba amara* y *Schizolobium amazonicum* son provenientes de las plantaciones de 17 años del Bosque Nacional Alexander Von Humboldt en Ucayali y *Swietenia macrophylla* es de edad madura proveniente de bosque, la identificación dendrológica estuvo a cargo de la Sección de Dendrología del Departamento de manejo Forestal de la Universidad Nacional Agraria La Molina.

3.2.1.2 HONGOS XILÓFAGOS

Los hongos fueron colectados en parcelas de Oxapampa, donde se ubico árboles muertos que estaban infectados de *Polyporus sanguineus* y *Schizophyllum commune*, estos organismos son de pudrición blanca que degradan principalmente la celulosa y lignina. La identificación de cada uno de ellos fue realizada por especialistas del Servicio Nacional de Sanidad Agraria-SENASA.

3.2.1.3 MEDIO DE CULTIVO

El Medio de cultivo empleado fue el sustrato estándar Extracto de Malta agar (EMA) al 1.5%, cuya composición es la siguiente:

Agar-Agar	20g
Extracto de Malta	15 g
Dextrosa	15 g
Agua destilada	1000mL

3.2.1.4 CÁMARAS DE PUDRICIÓN Y ACCESORIOS

De acuerdo a las Normas Técnicas ANSI/ASTM D 2017-90, e INDECOPI 251.027, se utilizaron frascos de vidrio de 350mL de capacidad, con tapa rosca metálica sin empaquetaduras para facilitar el desarrollo de los hongos.

Como material de vidrio complementario se emplearon placas petri, tubos de ensayo y otros de rutina en el cultivo de hongos.

3.2.2 EQUIPOS E INSTRUMENTOS

A. Para la preparación de probetas de madera

- Cepilladora
- Sierra Circular
- Sierra Radial
- Lijas para madera

- Vernier digital
- Balanza digital con precisión de 0,001 gramos Marca SARTURIUS
- Estufa con termostato regulable a 103 ± 2 °C. MEMMERT y J.P. SELECTA S.A. INCUDIGIT
- Autoclave de Esterilización. BARNSTEAD ESTERILIZER
- Campana desecadora
- Bastidores de metal, bandejas de plástico y pinzas para el manipuleo conveniente de probetas

B. Para la preparación del medio de cultivo

- Balón de fondo plano 500mL
- Tapones de algodón
- Soporte con anillo
- Embudo de vidrio
- Mechero de alcohol
- Horno Microondas. Marca LG
- Guantes DE NITRILO T. "S"
- Guantes y protectores
- Balanza analítica 0,0001g. Ohaus (preparación de medio de cultivo)
- Frascos de vidrio, con tapa metálica de rosca y sin empaquetadura.
- Autoclave de Esterilización. BARNSTEAD ESTERILIZER
- Vasos de precipitación 250, 500 y 1000mL.
- Papel de Aluminio

C. Para la identificación de los hongos

- Microscopio con accesorios para la observación

D. Para el cultivo de hongos

- Desinfectantes: Hipoclorito de sodio (lejía) y Alcohol 95°.
- Mechero de alcohol
- Instrumental Histológico: pinzas, anzas y hojas de bisturí.
- Cámara de flujo. Marca TELSTAR BH 100
- Balanza digital de 0,01 g de precisión. Marca SARTURIUS (peso de los reactivos)
- Autoclave de esterilización. Marca BARNSTEAD ESTERILIZER

E. Para análisis fitoquímico

- Incubadora BARNSTEAD - LAB LINE
- Molinete de astillas
- Erlenmeyers de 250mL
- Agitador orbital. LAB LINE SHAKER
- Tamiz N°60
- Alcohol 96°
- Benceno p.a
- Agua destilada
- Extractores Soxhlet
- Refrigerantes de reflujo
- Agua destilada
- Alcohol amílico
- Alcohol de 96°
- Acido clorhídrico q.p (HCl)
- Cinta de magnesio (Mg)
- Cloruro férrico (FeCl)aq.

- Cloruro de sodio (NaCl)s
- Gelatina
- Reactivo de Dragendorff
- Reactivo de Mayer
- Reactivo de Shinoda
- Reactivo de Fehling

F. Para el registro de información

- Equipo Fotográfico
- Computadora

3.3 MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS

En el desarrollo del estudio se utilizaron métodos y procedimientos normalizados

3.3.1 PRUEBA DE RESISTENCIA DE LA MADERA A LA PUDRICIÓN

Se tomó como referencia a las Normas Técnicas ANSI/ASTM D2017-90 reeditada en 1990: Standard method of Accelerated Laboratory test of Natural Decay Resistance of Woods, e INDECOPI 251.027 de 1972, reeditada en 1996: Valor toxico y permanencia de preservadores de la madera en condiciones de laboratorio; los cuales se realizarán en los siguientes pasos:

A) PREPARACIÓN DE PROBETAS

Con la madera identificada se prepararon probetas de duramen de 2cm de ancho; es decir 8 cm³ (2x2x2cm), para la prueba de durabilidad natural. (Figura 3)



Figura 4 Probetas de las especies forestales estudiadas

B) ACONDICIONAMIENTO INICIAL DE PROBETAS

Las probetas se llevaron hasta el 0% de contenido de humedad, con el fin de determinar su peso seco inicial según Norma Indecopi 251.010

C) ESTERILIZACIÓN Y HUMEDECIMIENTO DE PROBETAS

Los frascos de vidrio Kolle fueron esterilizados en condición húmeda, se hizo lo mismo con las probetas de madera llevándole a una temperatura de 126 °C y a 1,25 atm de presión por 11 min.

D) CULTIVO DE INÓCULOS

Los hongos seleccionados para los ensayos de durabilidad de la madera se cultivaron en extracto de Malta-Agar; incubados a 26°C en placas petri por un periodo de 3 semanas de desarrollo (Figura 4).



Figura 5 Micelio de hongos xilófago del (A) *Polyporus sanguineus* L. ex. Fr. y (B) *Shyzothyllum commune* Fries. (Foto: H. Ramos)

E) PREPARACIÓN DE CÁMARAS DE PUDRICIÓN

Los frascos de vidrio kolle después de haber sido esterilizadas, se les preparó con 40 ml de medio extracto de Malta-Agar y esterilizadas nuevamente en autoclave por 15 minutos a 15 libras de presión; después las botellas se colocaron en posición vertical hasta la completa solidificación del medio. Cuando el medio llegó a endurecerse, se llevó a cabo la inoculación de las cámaras.

F) INOCULACIÓN DE CÁMARAS DE PUDRICIÓN

Se tomó 1 cm² (aproximadamente de micelio de cada uno de los hongos, con la ayuda de ansas previamente esterilizadas. Los inóculos se trasladaron asépticamente a las superficies de agar en las botellas ubicándola aproximadamente en el centro del medio de cultivo.

Las cámaras de pudrición; ya inoculadas, fueron incubadas a 26°C y durante 4 semanas hasta que el hongo en estudio forme una capa de micelio bien desarrollado sobre la superficie del medio (figura 5).



Figura 6 Crecimiento de hongos xilófagos (A) *Polyporus sanguineus* L. ex. Fr y (B) *Shyzyphyllum commune* Fries. (Foto: H. Ramos)

G) PROCESO DE PUDRICIÓN

Las probetas esterilizadas y húmedas se colocaron en los frascos de pudrición con la ayuda de ansas previamente esterilizadas, para luego llevarla a la incubadora por un periodo de tres meses a una temperatura constante de 26 °C. (Figura 6 y 7)



Figura 7 Hongos en cámara de incubación (Foto: H. Ramos)

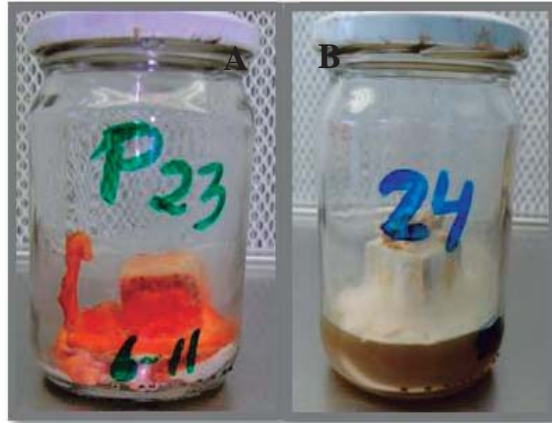


Figura 8 Prueba de durabilidad de las especies forestales al ataque de hongos xilófagos (A) *Polyporus sanguineus* L. ex. Fr y (B) *Shyizophyllum commune* Fries. (Foto: H.Ramos)

H) ACONDICIONAMIENTO FINAL DE PROBETAS

Al término del periodo de pudrición, las probetas se retiraron de los frascos para luego quitar los micelios, se llevaron a estufa por 24 horas para determinar su peso seco final. (Figura 6)



Figura 9 Probetas en estufa de secado

1) *CÁLCULO DE PÉRDIDA DE PESO*

Para determinar el porcentaje de pérdida de peso ocasionada por ambos hongos de pudrición blanca en las distintas probetas de madera y bajo las diferentes condiciones de cultivo (temperatura, humedad y tiempo), se utilizó la siguiente relación matemática:

$$\%PP = ((PSI - PSF)/PSI)/100$$

Donde:

%PP: pérdida de peso (%)

PSI: peso seco inicial (g).

PSF: peso seco final (g).

Los resultados fueron interpretados con ayuda del cuadro 1, la cual pertenece a la norma empleada en el estudio.

Cuadro 1 Criterio para la interpretación de resultados y clasificación de maderas respecto a su durabilidad natural a las pudrición

<i>Promedio de Pérdida de Peso (%)</i>	<i>Promedio de Peso Residual (%)</i>	<i>Grado de Resistencia al hongo Xilófago</i>	<i>Clases</i>
0-10	90-100	Altamente Resistente	A
11-24	76-89	Resistente	B
25-44	56-75	Moderadamente Resistente	C
45 en adelante	55 o menos	No Resistente	D

3.3.2 CONTENIDO DE EXTRACTIVOS EN LA MADERA

A) *EXTRACCIÓN EN ALCOHOL – BENCENO*

Se empleó la Norma TAPPI T OS-59, la cual indica la utilización de un equipo de extracción Soxhlet, utilizando un flujo constante de alcohol benceno (1:2), para tales efecto se emplearon 2g de aserrín por cada extracción.

El cálculo del contenido de extractivos se realizó por:

$$\% E_{AB} = \frac{PS_1 - PS_2}{PS_1} \times 100$$

Donde:

%EAB: Extractivos solubles en Alcohol Benceno (%).

PS1: Peso de aserrín seco (g).

PS2: Peso de aserrín seco tratado con AB (g).

B) *EXTRACCIÓN EN AGUA CALIENTE*

Se empleó la Norma TAPPI T- 207-om-88. Consiste en emplear 2 g. de aserrín previamente extraído en alcohol: benceno (A:B), en un Erlenmeyer con 100mL de agua destilada y refrigerante reflujo, manteniendo en ebullición el agua por 5 horas aproximadamente.

El cálculo del contenido de extractivos se realizó por:

$$\% E_{H_2O} = \frac{PS_2 - PS_3}{PS_2} \times 100$$

Donde:

%EH₂O: Extractivos solubles en agua caliente (%).

PS2: Peso de aserrín seco tratado con A:B (g).

PS3: Peso de aserrín seco tratado con agua caliente (g).

%ET: Extractivos totales (%).

$$\% E_T = \% E_{AB} + \% E_{H_2O}$$

3.3.3 ANÁLISIS FITOQUÍMICO PRELIMINAR DE LOS EXTRACTIVOS DE LA MADERA

El análisis consistió en la detección de compuestos orgánicos calificados como metabolitos primarios y secundarios presentes en los extractos de la madera (figura 10). Previamente se determinó la solubilidad para cada una de las muestras y luego se realizaron las pruebas de identificación por coloración a la gota en base a los ensayos mencionados.

A) ENSAYO DE SOLUBILIDAD: METODOLOGIA BASADA EN LA NRSP309

Fundamento del método

Se basa en la extracción de las sustancias en agua, alcohol o una mezcla hidro - alcohólica, mediante maceración y evaporación hasta sequedad de una alícuota del extracto.

Procedimiento

De la muestra de laboratorio previamente pulverizada y tamizada, se pesan 5 g y se transfiere a un frasco cónico con tapa de 250 mL; se añaden 100 mL de agua o alcohol al porcentaje establecido en la monografía (96°, 70°, 50°, 30° y agua). Se agita durante 6 h y se deja en reposo hasta el día siguiente; se agita 30 min, se deja reposar alrededor de 30 min y se filtra

en papel. Se toma una alícuota de 20 mL en cristalizadores, uno por cada solvente se evapora sobre baño de agua, se deseca a 105 °C en una estufa durante 3 h , se enfría y se pesa.

Expresión de los resultados

El porcentaje de sustancias solubles en base anhidra (S_S) se calcula mediante la fórmula siguiente:

$$S_S(\%) = \frac{R * 500 * 100}{M * (100 - H)}$$

Donde:

H : humedad de la muestra (%)

500 y 100: factores matemáticos para los cálculos

R : residuo de la muestra (g)

M : masa de la muestra (g)

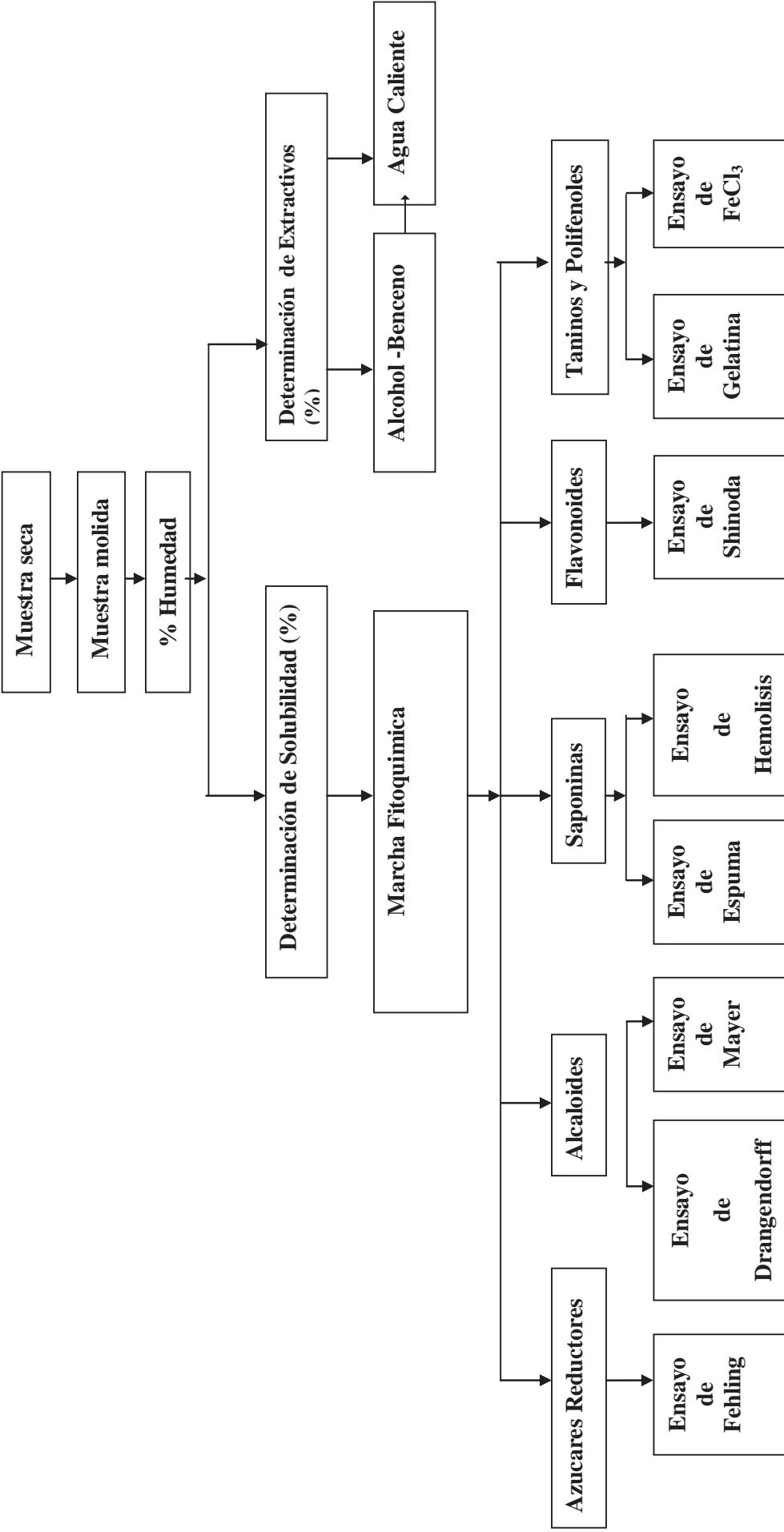
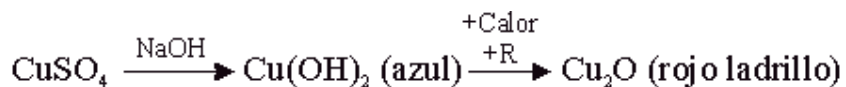


Figura 10 Diagrama de Flujo del proceso de determinación del Análisis Fitoquímico

B) ENSAYO DE FEHLING

Fundamento de la reacción: En medio alcalino, el cobre procedente del CuSO_4 se encuentra en forma de hidróxido cúprico, y se forma la correspondiente sal Na_2SO_4 . Cuando el $\text{Cu}(\text{OH})_2$ (de color azul) se calienta en presencia de un compuesto reductor se forma óxido cuproso (de color rojo ladrillo).



Un aspecto importante de esta reacción es que la forma aldehído puede detectarse fácilmente aunque exista en muy pequeña cantidad (Weininger, 1988)

C) ENSAYO DE DRANGENDORFF

Permite reconocer en un extracto la presencia de alcaloides; si el extracto es acuoso, a la alícuota (1mL) se le añade una gota de ácido clorhídrico concentrado se calienta suavemente y dejar enfriar, se le añade 3 gotas del reactivo Drangendorff, si hay presencia de una opalescencia se considera (+), turbidez definida (++) , precipitado (+++) de color rojo ladrillo. En todos los casos indica presencia de alcaloides.

D) ENSAYO DE MAYER

Se procede de la forma descrita anteriormente, hasta obtener la solución ácida. Se añade una pizca de cloruro de sodio en polvo, agite y filtre. Añadir 2 ó 3 gotas del reactivo Mayer: si se observa opalescencia (+), turbidez definida (++) , precipitado coposo (+++) de color amarillento indica que la reacción es positiva.

E) ENSAYO DE LA ESPUMA

Permite reconocer la presencia de saponinas, tanto del tipo esferoidal como tirterpénico. De modo que si la alícuota se encuentra en alcohol, se diluye con 5 veces su volumen en agua y se agita la mezcla fuertemente durante 2 minutos. El ensayo se considera positivo si aparece espuma de más de 2mm de altura en la superficie del líquido y persiste por más de 2 minutos.

F) ENSAYO DE HEMOLISIS

Este ensayo es más confiable que el de la espuma. A una suspensión de glóbulos rojos(donante humano) en concentración de 5% en solución salina diluida, se añade una solución de la muestra que se presume que es o que contiene saponinas. Si los glóbulos rojos se rompen (lisan o hemolizan), se asume que la prueba es positiva. Este ensayo puede realizarse en un tubo de ensayo, en cajas de petri con agar –sangre o en cajas de petri con gelatina- sangre.

G) ENSAYO DE GELATINA

La prueba más empleada para la detección de taninos (polifenoles), al extracto se le agrega solución de gelatina al 1% .La formación de un precipitado blanco se considera prueba positiva. Centrifugar si es necesario para observar el precipitado.

H) ENSAYO DE CLORURO FÉRRICO

Permite reconocer la presencia de taninos y compuestos fenólicos en un extracto vegetal. A una alícuota del extracto alcohólico se le adicionan 3 gotas de una solución de tricloruro férrico al 5 % en solución salina fisiológica (cloruro de sodio al 0.9 % en agua). Un resultado positivo puede dar la siguiente información:

- Rojo vino —————> Compuestos fenólicos en general.
- Verde —————> Taninos pirocatecólicos o condensados.
- Azul —————> Taninos pirogalotánicos o hidrolizables.

Los derivados fenólicos se pueden identificar ya que el grupo hidroxilo unido a un anillo aromático forma un complejo como el hierro, cuyo color depende de la estructura del derivado fenólico.

1) ENSAYO DE SHINODA

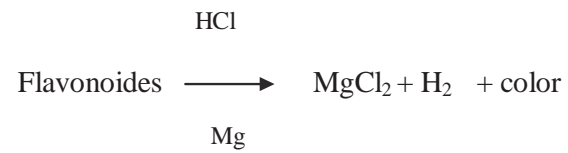
Permite reconocer la presencia de flavonoides en un extracto de un vegetal. Si la alícuota del extracto se encuentra en alcohol, se diluye con 1 mL de ácido clorhídrico concentrado y un pedacito de cinta de magnesio metálico. Después de la reacción se espera 5 minutos, se añade 1 mL de alcohol amílico, se mezclan las fases y se deja reposar hasta que se separen. El ensayo se considera positivo cuando el alcohol amílico se colorea. Dependiendo del tipo de flavonoides aparecerá una coloración diferente según el cuadro 2.

Cuadro 2 Clasificación de Flavonoides por el tipo de coloración

<i>Tipo de Flavonoide</i>	<i>Color de la Reacción de Shinoda</i>
Chalconas,	No dan coloración
Auronas	No dan coloración
Isoflavanonas	No dan coloración
Isoflavonas	Amarillo
Flavanonas	Azul, magenta, violeta, rojo.
Flavanoles	Rojo a magenta
Flavonas y Flavonoles	Amarillo a rojo

Fuente: Lock, 1994

En la reacción de Shinoda, el magnesio metálico es oxidado por el HCl concentrado dando como producto hidrogeno (H₂), que es eliminado en forma de gas y el MgCl₂, que es el que forma complejos con los flavonoides dando coloraciones características. El magnesio divalente intensifica la coloración.



3.3.4 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Se determinó el promedio, variancia, desviación estándar y coeficiente de variación de la pérdida de peso observada en tres especies forestales, los valores se expresaron en porcentajes.

A) *DISEÑO EXPERIMENTAL*

Para el análisis de variancia de los índices de Resistencia de la Madera a la Pudrición se empleó un arreglo factorial de dos factores: clase de madera y hongo xilófago (3x2) con 10 repeticiones en un diseño completamente al randomizado. Siendo el modelo aditivo lineal:

$$Y_{ij} = U + M_i + H_j + (MH)_{ij} + E_{ij}$$

Donde:

U= Media general

M_i= Efecto de la i-ésima madera

H_j= Efecto del j-ésimo hongo xilófago

(MH) _{ij} = Efecto de la interacción del i-ésimo hongo y madera.

E_{ij} = Error experimental

El análisis de variancia (ANVA) se realizó aplicando la pérdida de leño expresada en porcentaje del peso seco inicial; con un nivel de significación del 1%.

B) *ANÁLISIS DE CORRELACIÓN SIMPLE*

Con la finalidad de evaluar la asociación lineal entre el contenido de extractivos y resistencia con la pérdida de leño observada en las tres clases de Madera, se calculó el coeficiente de correlación y el coeficiente de determinación correspondientes.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 RESISTENCIA DE LA MADERA A LA PUDRICIÓN

La resistencia de la madera de las tres especies forestales frente a la acción enzimática de los hongos xilófagos empleados, fue evaluada en función de la pérdida de peso observada en probetas de madera y expresada en porcentaje del peso seco inicial de las mismas.

4.1.1 PERDIDA DE LEÑO DE LAS PROBETAS DE MADERA

En los cuadros 3 y 4, se presentan los valores promedio de pérdida de leño de las probetas de madera de tres especies forestales por acción de los hongos xilófagos *Shizophyllum comunne* y *Polyporus sanguineus*. Se observa que la pérdida de peso de la probeta de madera de caoba es menor a las especies de marupa y pino chuncho.

Por otro lado los cuadros 3 y 4 muestran que las pérdidas de leño inducidas por *Polyporus sanguineus* en las tres especies forestales son mayores a las generadas por el *Shizophyllum comunne*.

Los cuadros 3 y 4 muestran también el coeficiente de variabilidad de los valores de pérdida de leño de las tres clases de madera por acción de los dos hongos xilófagos empleados, el cual tiende a ser mayor en maderas con menor pérdida de peso.

Cuadro 3 Promedio de pérdida de peso de 3 especies forestales por acción de *Shizophyllum commune*

Parámetros	Caoba	Marupa	Pino chuncho
Número de observaciones	10	10	10
Media (%)	4,53	26,78	31,74
Variancia	0,57	3,45	21,75
Desviación estándar	0,75	1,86	4,66
Coefficiente de variación	16,56	6,95	14,68

Cuadro 4 Promedio de pérdida de peso de 3 especies forestales por acción de *Polyporus sanguineus*

Parámetros	Caoba	Marupa	Pino chuncho
Número de observaciones	10	10	10
Media (%)	5,00	47,00	46,24
Variancia	2,02	9,08	1,65
Desviación estándar	1,42	3,01	1,28
Coefficiente de variación	28,40	6,40	2,77

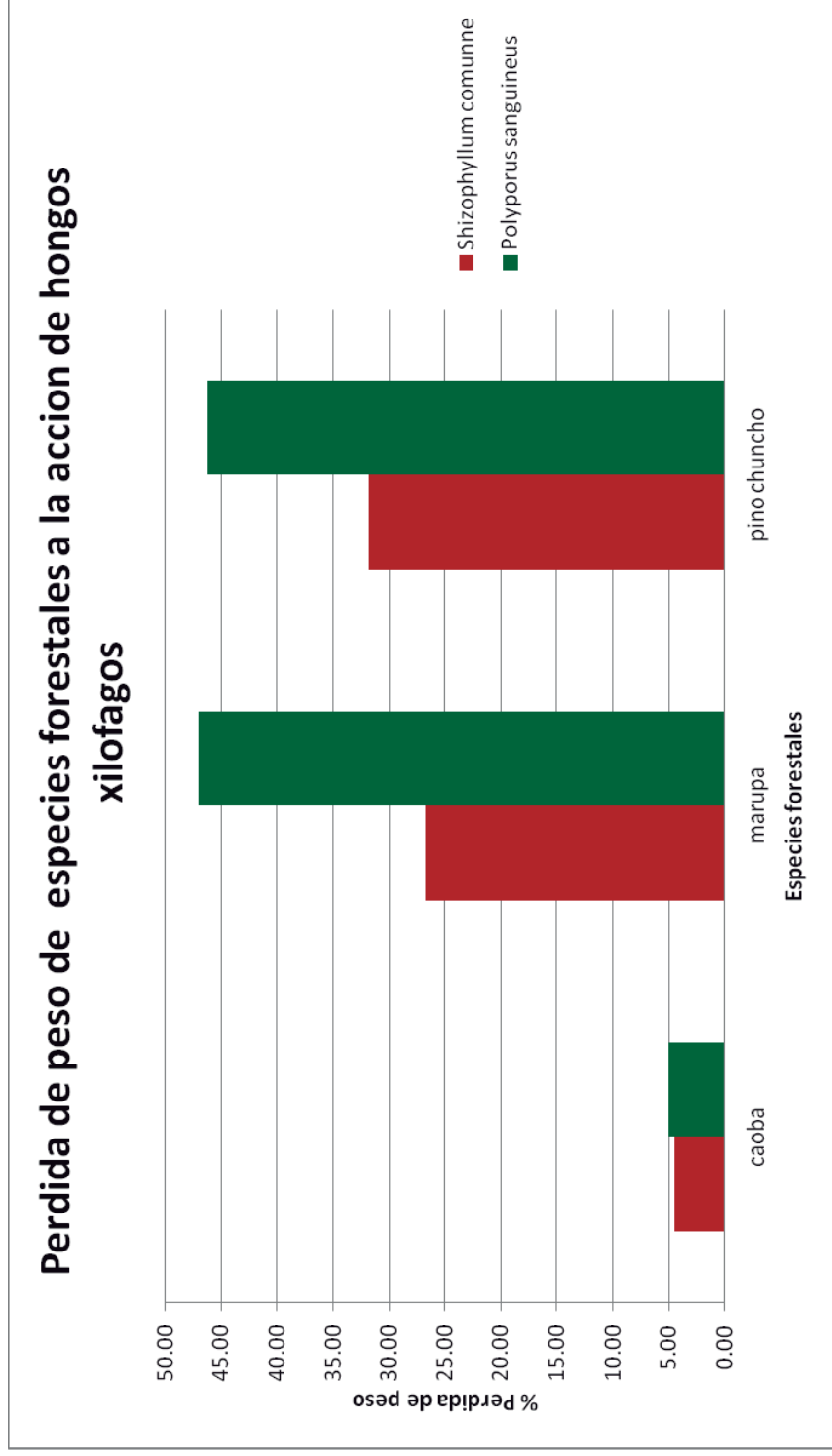


Figura 11 Pérdida de peso inducidas por los Hongos xilófagos en las especies forestales.

Al respecto el ANVA presentado en el cuadro 5 muestra que las diferencias en pérdida de leño entre las 3 maderas son altamente significativas en la interacción hongo por especie forestal con relación al porcentaje de pérdida de peso de la especie (cuadro 5).

Cuadro 5 Análisis de variancia de la pérdida de leño de 3 especies forestales por acción de 2 hongos xilófagos

<i>Fuentes de variabilidad</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Cuadrado medio</i>	<i>Fc</i>	<i>Ft 0.01</i>
Clases de madera	2	14714,89	7357,44	321,25	<0,0001
Hongos xilófagos	1	2062,49	2062,49	1146,00	<0,0001
Interacción	2	1033,69	516,69	80,48	<0,0001
Error	54	346,69	6,42		
Total	59	18157,44			

El ANVA de los efectos simples en el cuadro 6 nos indica que dichas diferencias altamente significativas se encuentran presentes tanto bajo la acción del *Polyporus sanguineus* como la de *Shizophyllum commune*. Las diferencias altamente significativa se da en las especies de marupa y pino chuncho, mientras que caoba mostró menores pérdidas, por lo que queda comprobada la mayor actividad del *Polyporus sanguineus* (Rengifo, 1990), sobre el *Shizophyllum commune*.

Cuadro 6 Análisis de variancia para el estudio de los efectos simples de clases de madera y hongos xilófagos

<i>Fuentes de variabilidad</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Cuadrado medio</i>	<i>Fc</i>	<i>Ft 0.01</i>
Efectos simples entre clases de madera con:					
<i>Shizophyllum commune</i>	2	4197,76	2098,88	326,92	<0,0001 **
<i>Polyporus sanguineus</i>	2	1155,10	5775,26	899,56	<0,0001 **
Efectos simples entre hongos xilófagos en:					
Caoba	1	1,067	1,067	0,17	0,6851 ns
Marupa	1	2043,84	2043,84	318,35	<0,0001 **
Pino chuncho	1	1050,96	1050,96	163,7	<0,0001 **

** : Altamente significativa

4.1.2 CLASIFICACIÓN DE LA MADERA POR DURABILIDAD NATURAL EN BASE AL ÍNDICE DE RESISTENCIA A LA PUDRICIÓN

En el cuadro 7 se muestra la clasificación de las maderas respecto a la Durabilidad natural en función de los índices de resistencia de la madera a la pudrición hallados; empleándose para ello la tabla de interpretación de resultados de la Norma ASTM D 2017-90. En él se observa que las maderas de *Simarouba amara* y *Shizolobium amazonicum* presentaron menor resistencia a la pudrición y son clasificados en el grupo D: No Durable, estos resultados coinciden con Pino (2002) y Avalos (2011) respectivamente; mientras que la madera de *Swietenia macrophylla* mostró mayor resistencia a la pudrición clasificándose en el grupo “A” Altamente Durable.

Cuadro 7 Clasificación de la madera de 3 especies forestales por durabilidad natural en base a índices de resistencia.

<i>Especie Forestal</i>	<i>Hongos Xilófagos</i>		<i>Clasificación General</i>
	<i>Shizophyllum commune</i>	<i>Polyporus sanguineus</i>	
Caoba	A	A	A
Marupa	C	D	D
Pino chuncho	C	D	D

A: Altamente Durable B: Durable C: Moderadamente Durable D: No Durable

4.2 ENSAYO DE SOLUBILIDAD

Mediante el ensayo de solubilidad se determinó el solvente hidroalcohólico donde se concentra la mayor cantidad de metabolitos extraídos; en el Cuadro 8 se muestran los solventes para cada una de las especies. Por consiguiente la marcha Fitoquímica se realizó en los extractos determinados.

Cuadro 8 Prueba de Solubilidad

<i>Especie Forestal</i>	<i>Concentración de Solvente hidroalcohólico (%)</i>
<i>Swietenia macrophylla</i> (caoba)	50
<i>Simarouba amara</i> (marupa)	60
<i>Schizolobium amazonicum</i> (pino chuncho)	70

Observamos en el cuadro 8 que las tres especies tuvieron diferente solubilidad, lo que se puede suponer que estas especies tengan diferentes metabolitos y según los resultados observamos que caoba pudiera tener compuestos más polares (compuestos fenólicos), Bruneton (2001); con respecto a marupa y esta con respecto pino chuncho, esto debido a la concentración de solvente que resultó su solubilidad.

4.3 DETERMINACIÓN DE EXTRACTIVOS

En el cuadro 9, se observa los porcentajes de extractivos de las tres especies evaluadas, de los cuales la caoba contiene el mayor porcentaje de extractivos tanto en A: B y en agua caliente, con 11,54% y 5,75% respectivamente. Sin embargo para las especies marupa y pino chuncho sus contenidos totales fueron mucho menores en comparación a la caoba siendo 2.16% y 3,47 respectivamente.

Cuadro 9 Resultados de la Determinación de extractivos

<i>Especie Forestal</i>	<i>Extractivos</i>		
	<i>Alcohol-Benceno (%)</i>	<i>Agua caliente (%)</i>	<i>Total (%)</i>
caoba	11,54	5,75	17,29
marupa	1,40	0,76	2,16
pino chuncho	1,40	2,07	3,47

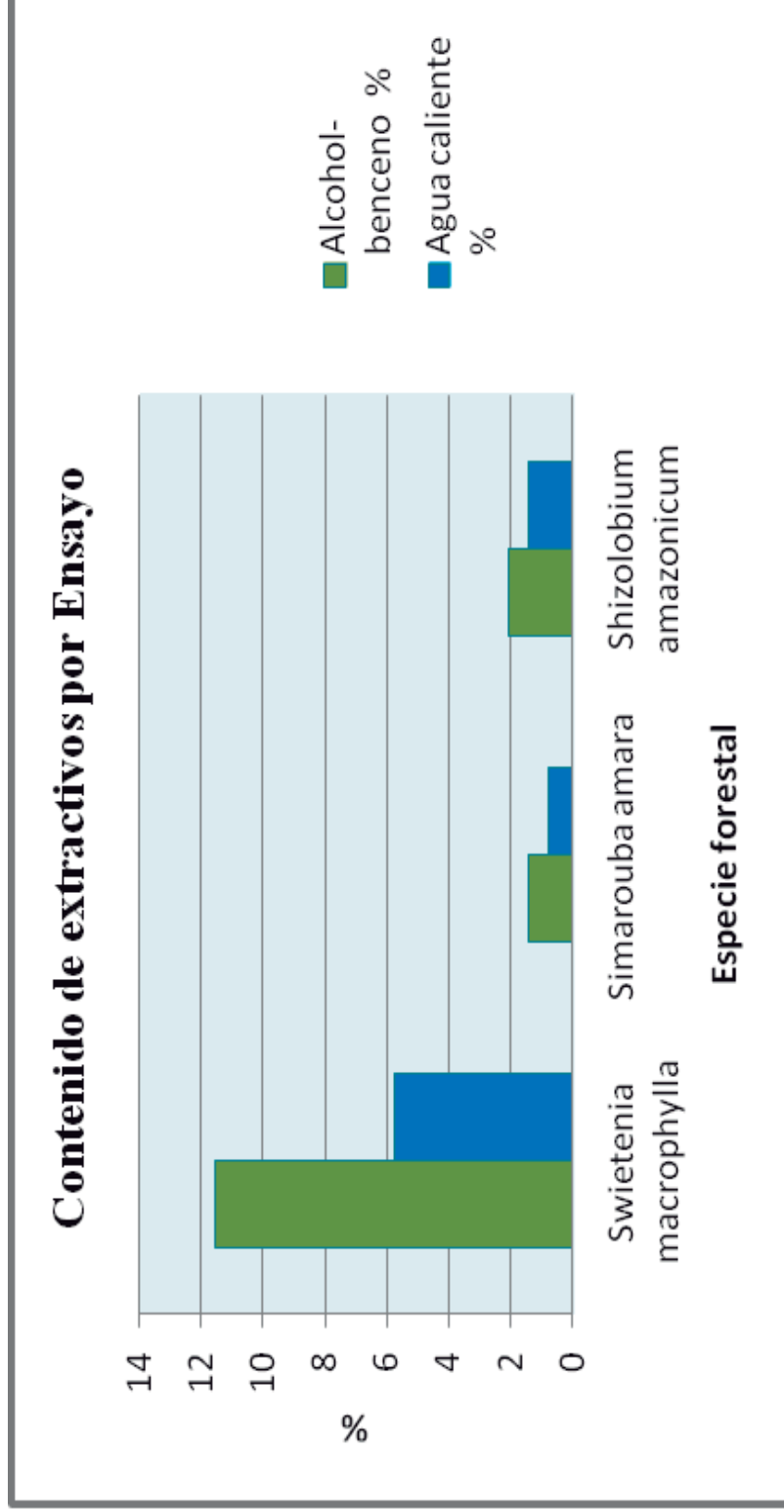


Figura 12 Contenido de extractivos por ensayo de las especies forestales (Caoba, Marupa y Pino chuncho)

En el cuadro 10 se muestra el análisis de correlación entre el porcentaje de contenido de extractivos y pérdida de peso promedio de las tres especies forestales que han sido atacadas por los dos hongos xilófagos en estudio, se observa que existe una alta correlación inversa entre ambos con un coeficiente de determinación de 98%, tal como indica Trujillo(1992), quien encontró que el contenido de químicos tóxicos (extractivos) determinan significativamente las cualidades de resistencia de la madera a la pudrición y por ende en los valores y tendencias de los porcentajes de pérdida de peso de la madera bajo la acción de hongos xilófagos.

Los resultados que obtenidos concuerda con Viitanen *et al.* (1997) quien encontró una relación directa entre la resistencia de la madera y el contenido de extractivos en diversas especies de *Larix* sp en un rango de 3,2% - 20,5%, demostrando que a menores niveles de extractivos menor es la resistencia de la madera y viceversa.

Cuadro 10 Correlación entre el porcentaje de extractivos y pérdida de peso de las especies forestales

ESPECIE	%EE	%PP	% MADERA RESIDUAL
Caoba	17,29	4,765	95,235
Marupa	2,16	36,89	63,11
Pino chuncho	3,47	38,99	61,01
Coef. De correlación r			-0,991171005
Coef. De Determinación r ²			0,982419962
Coef. De No determinación 1 - r ²			0,017580038

%EE : Extractivos

%PP: Pérdida de peso

En la figura 9, se muestra una alta correlación inversa entre el porcentaje de contenido de extractivos y el porcentaje de pérdida de peso promedio que sufren las especies forestales estudiadas a la acción de los hongos xilófagos, al respecto Trujillo (1992) señala que el contenido de extractivos determina las cualidades de la durabilidad de la madera y mayor resistencia a la pudrición. Lo que significa que cuanto mayor son los porcentajes de extractivos corresponde menor porcentaje de pérdida de peso. Scheffer y Duncan (1947) mencionan que las maderas durables de Malasia presentan un mayor porcentaje de extractivos solubles en alcohol-benceno que en las no durables. Afirmando que las maderas con más del 5% de extractivos solubles en alcohol-benceno son muy resistentes a la pudrición; lo cual concuerda con los resultados obtenidos en el presente estudio.

Relación entre el contenido de extractivos y pérdida de peso (causada por hongos xilofagos)

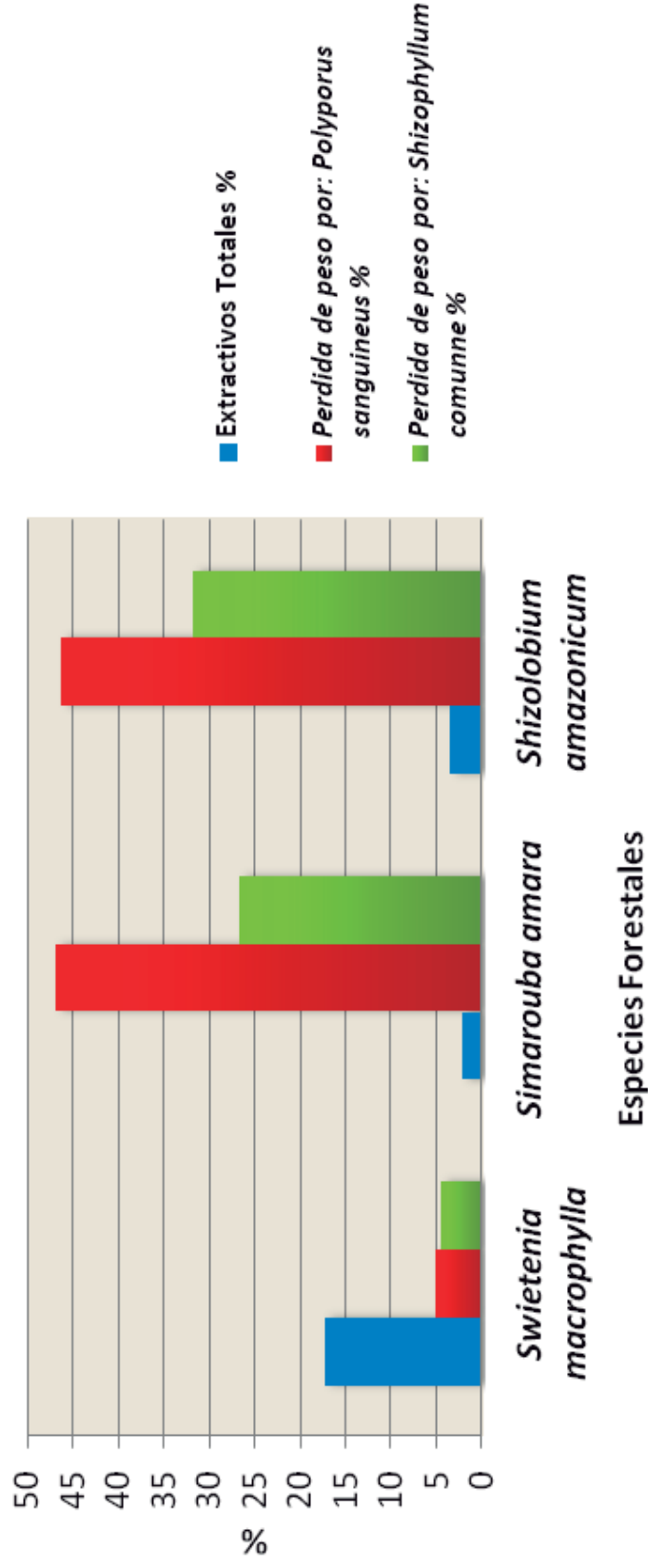


Figura 13 Relación entre el contenido de extractivos y especie forestal (caoba, marupa y pino chuncho)

4.4 MARCHA FITOQUIMICA

Se han desarrollado una serie de métodos para la detección cualitativa de los diferentes constituyentes químicos, basados en la extracción de estos con el solvente determinado por el ensayo de solubilidad. Los resultados obtenidos en los extractos de las especies en estudio se aprecian en el ente cuadro11, se observa que hay mayor presencia de alcaloides, flavonoides, azúcares reductores, saponinas y taninos en caoba, mientras que en el extracto de marupa se encontraron menor presencia de alcaloides y taninos, esto confirma lo estudiado por Coimbra (1994).

Cuadro 11 Resultados de marcha Fitoquímica de las especies Forestales

<i>Metabolitos</i>	<i>Reactivo</i>	<i>Especie Forestal</i>		
		<i>Caoba</i>	<i>Marupa</i>	<i>Pino chuncho</i>
Alcaloides	Reacción Dragendorff	+++	+	+
	Reacción Mayer	++	+++	++
Flavonoides	Reacción Shinoda	+++	+	+
Azucares reductores	Reacción de Fehling	+++	-	-
Saponinas	Prueba de espuma	+++	+	+
	Prueba de Hemólisis	+++	-	-
Taninos	Reacción de Gelatina	++	+	+
	Reacción FeCl ₃	++	+	++
Presencia:	abundante (+++); regular (++); poca (+); Ausencia o no detectado (-)			

4.4.1. Metabolitos Secundarios

A) ALCALOIDES

Según Lara (1999) las plantas que contengan alcaloides este metabolito secundario están protegidas frente al ataque de insectos debido al sabor amargo que estos le proporcionan. Los resultados indican que la caoba presenta una mayor presencia de alcaloides que contribuyen a su reconocida resistencia biológica.

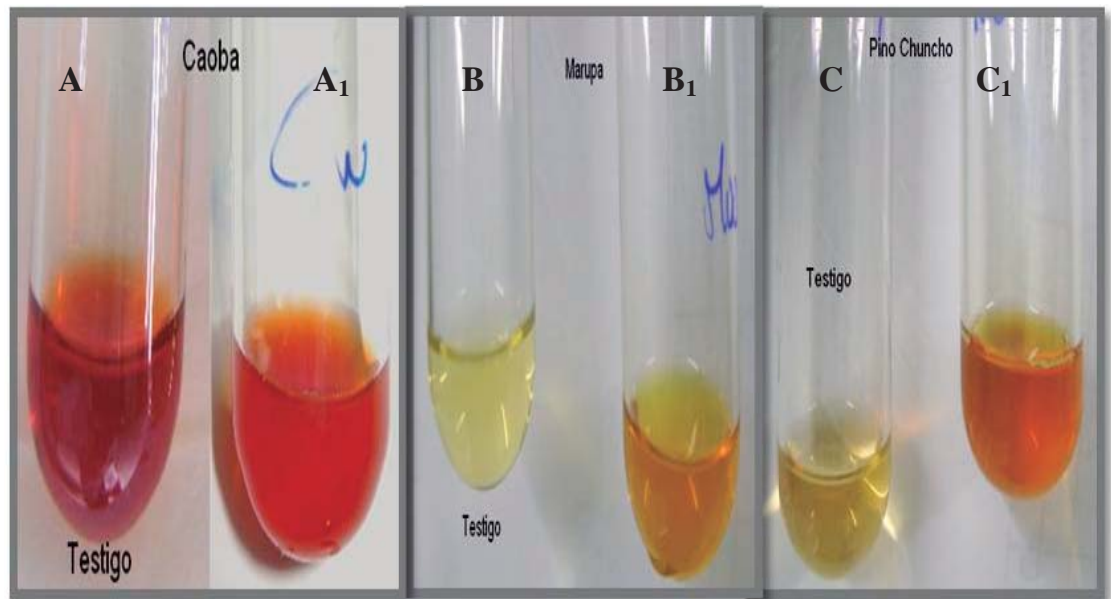


Figura 14 Ensayo de Dragendorff, A₁, B₁ y C₁ extractos con el reactivo y A, B y C extractos sin el reactivo (testigo)

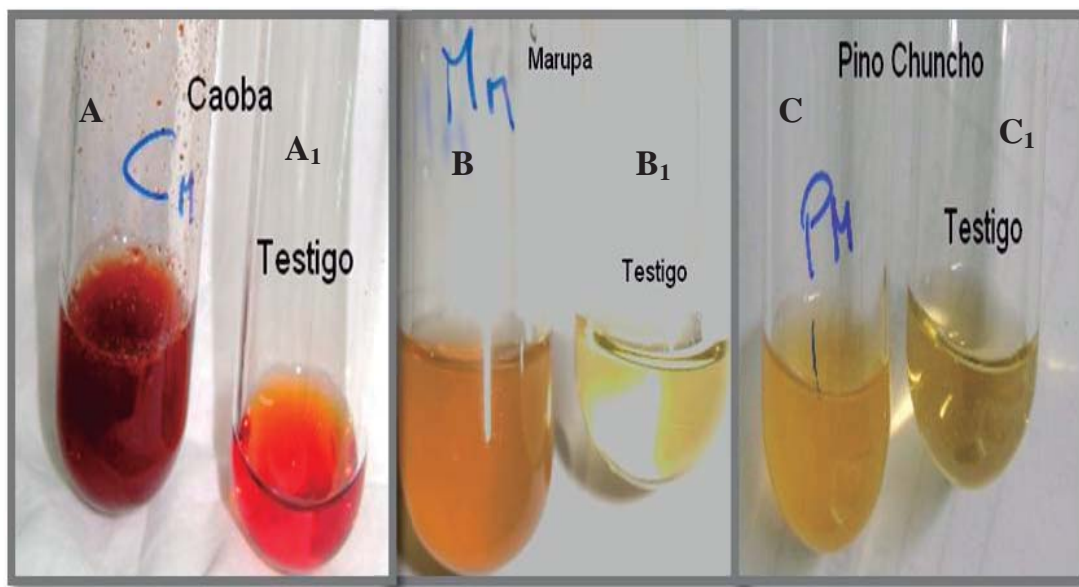


Figura 15 Ensayo de Mayer; A1,B1 y C₁ extractos sin el reactivo (testigo) y A, B y C extractos con el reactivo

B) FLAVONOIDES

Con respecto a la presencia de flavonoides; en caoba se observó mayor presencia con respecto a las otras dos especies, con una coloración rojo intenso; podría tratarse de flavonas, flavonoles, flavononoles y/o flavanonas, aunque no se puede descartar la presencia de isoflavononas, chalconas y/o auronas las que no dan coloración frente a la reacción de Shinoda,(Lock 1994). Sin embargo es importante mencionar que también las isoflavonas son sustancias producidas por las plantas como respuesta a una infección por un agente patógeno, generalmente de naturaleza fúngica, lo que estaría demostrando que la caoba pudiera presentar este tipo de metabolito tanto en el árbol vivo como en el árbol muerto (Bruneton 2001)

En el extracto de la especie Pino chuncho y marupa se observó un ligero cambio de coloración el primero se observa una coloración carmelita y para la segunda especie una coloración amarillo tenue lo que nos indica que una baja presencia de flavonoides y por lo tanto, aparentemente estos no contribuye a la resistencia biológica de las maderas frente a los hongos usados en este experimento.

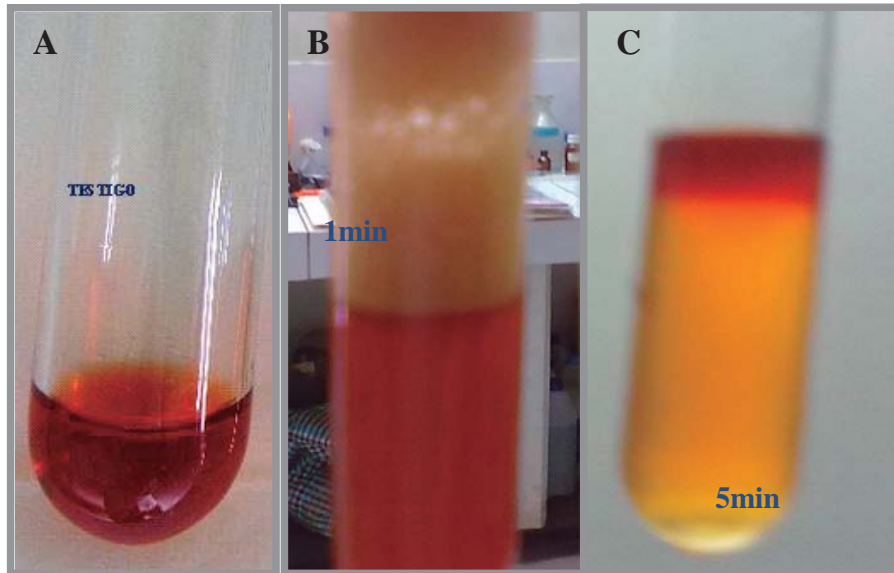


Figura 16 Ensayo de Shinoda en extracto de Caoba, (A) extracto testigo, (B) extracto transcurrido 1 min de reacción y (C) extracto transcurrido 5min de reacción

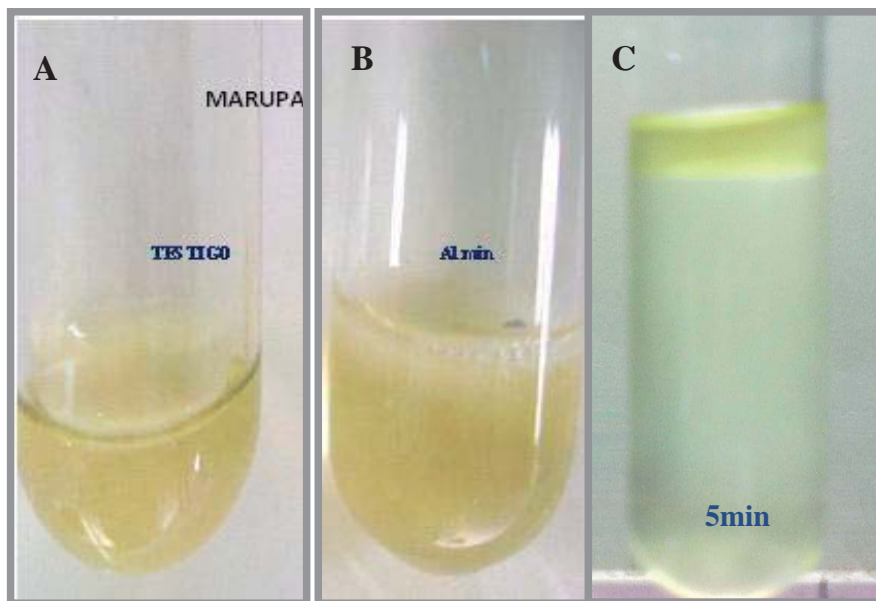


Figura 17 Ensayo de Shinoda en extracto de marupa, (A) extracto testigo, (B) extracto transcurrido 1 min de reacción y (C) extracto transcurrido 5min de reacción A

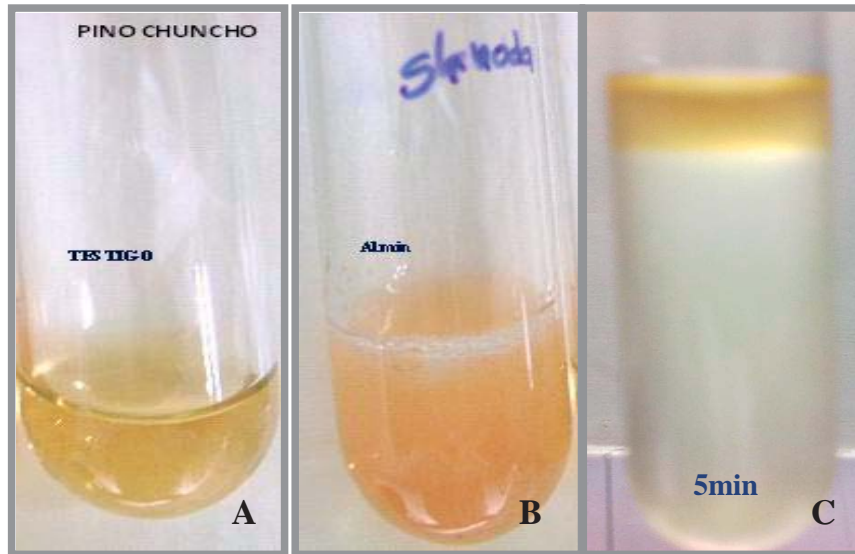


Figura 18 Ensayo de Shinoda en el extracto de pino chuncho, (A) extracto testigo, (B) extracto transcurrido 1 min de reacción y (C) extracto transcurrido 5min de reacción

A) AZUCARES REDUCTORES

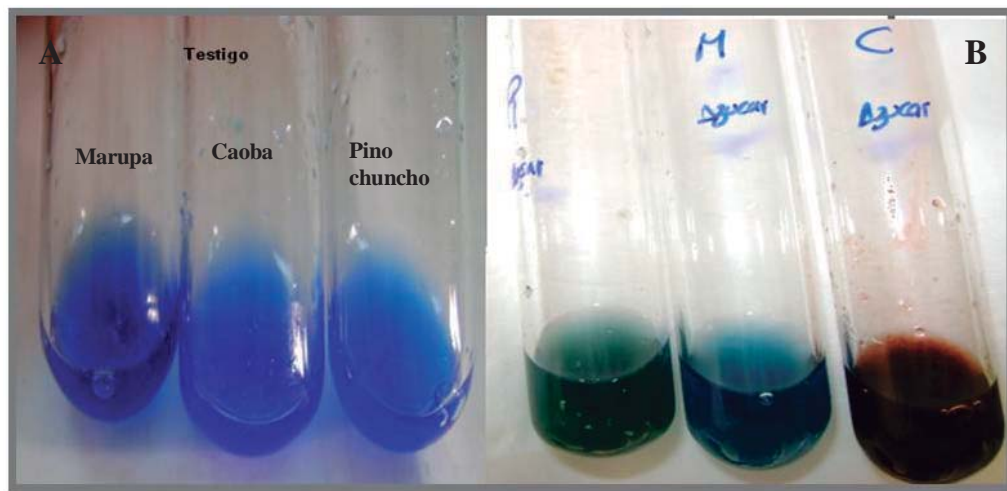


Figura 19 Ensayo de Fehling, (A) sin reactivo y (B) con reactivo (Foto: H. Ramos)

B) SAPONINAS

El ensayo de hemolisis y la de formación de espuma, cuando resultan positivos en una muestra vegetal (extracto, fracción o sustancia pura) permiten establecer que la muestra contiene saponosidos en general. La sola prueba de espuma positiva no es concluyente para determinar la presencia de saponinas.

Bruneton(2001) menciona que los saponosidos son hemolíticos, esta propiedad se le atribuye a su interacción con los esteroides de la membrana eritrocitaria, la interacción induce a un aumento de la permeabilidad de la membrana y movimiento de iones, el sodio y el agua entran, el potasio sale, la membrana explota, permitiendo de este modo la salida de la hemoglobina. Lo que explicaría la respuesta positiva de la caoba en el ensayo de hemolisis; así mismo menciona que no todos los saponosidos son o son poco hemolíticos, lo que explicaría el resultado positivo en la prueba de la espuma para marupa y pino chuncho y un resultado negativo en el ensayo de hemolisis para estas dos especies.



Figura 20 Prueba de espuma en los extractos de (A) pino chuncho, (B) marupa y (C) caoba. (Foto: H. Ramos)

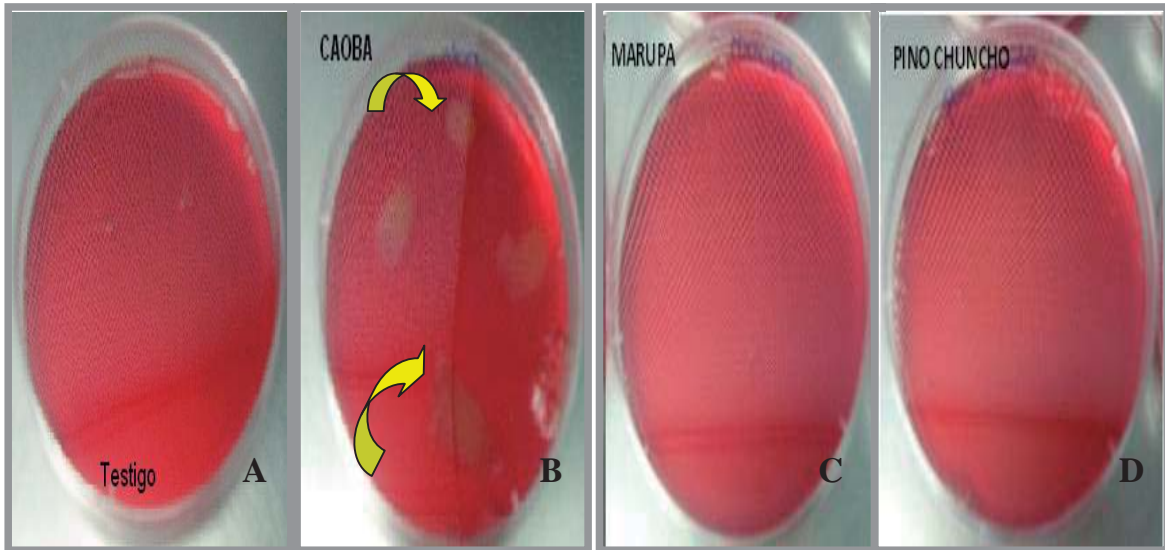


Figura 21 Prueba de Hemolisis (A) placa de agar sangre sin extracto (B) extracto de caoba, (C) extracto de marupa y (D) extracto de pino chuncho. (Foto: H. Ramos)

C) TANINOS

En la identificación de fenoles y/o taninos, caoba dio una coloración roja intensa lo cual indica que presenta compuestos fenólicos en general, mientras que pino chuncho dio una coloración verde olivo lo que indicaría la presencia de taninos pirocatecólicos o taninos condensados, por último el extracto de marupa dio un color marrón claro lo que también indica la presencia de compuestos fenólicos (Lock, 1994). La presencia de taninos detectada por esta prueba nos explica la resistencia a la pudrición dado que estos inhiben la actividad de enzimas fúngicas (Cartwright y Findlay, 1958).

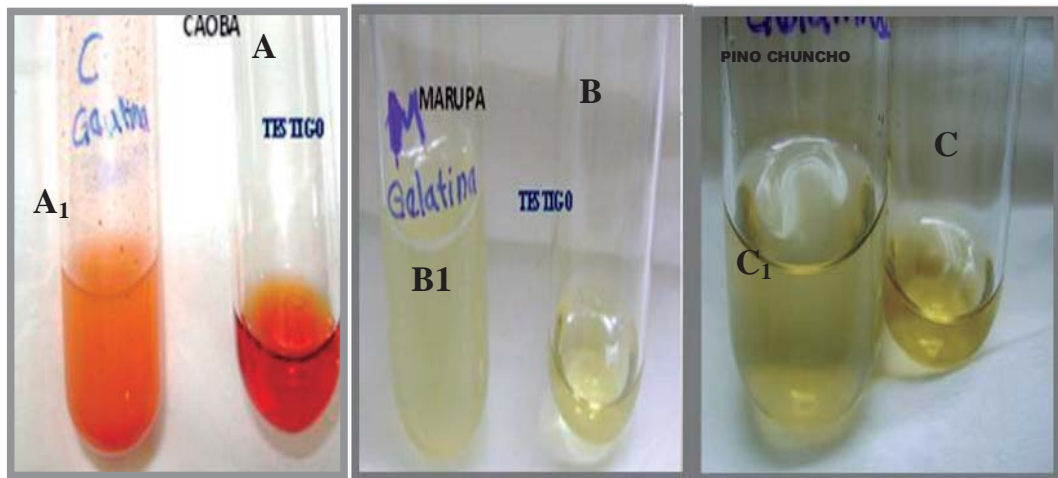


Figura 22 Ensayo de Gelatina, A₁, B₁ y C₁ extractos con el reactivo y A, B y C extractos sin el reactivo (testigo)

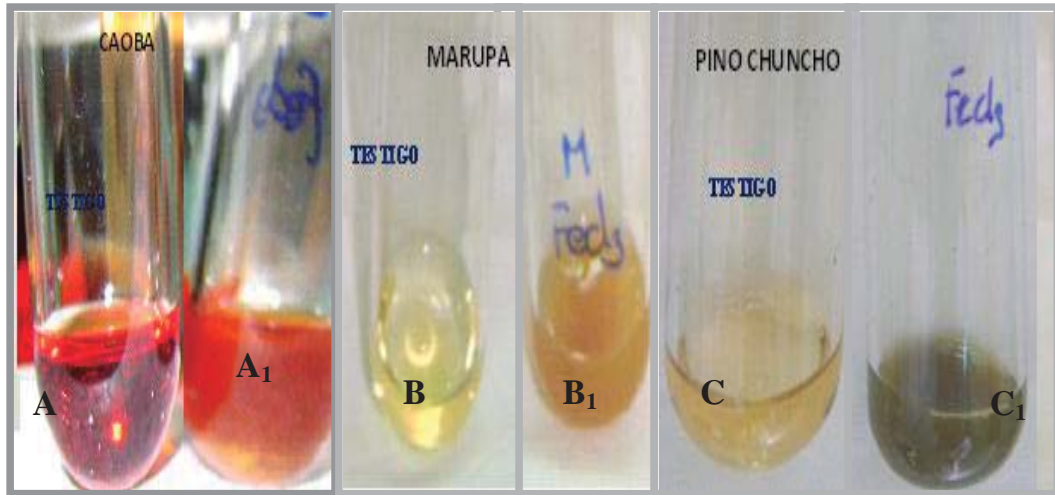


Figura 22 Ensayo de FeCl_3 . A, B y C extractos sin el reactivo (testigo) y A₁, B₁ y C₁ extractos con el reactivo

5. CONCLUSIONES

Las especies forestales **Swietenia macrophylla** King. (Caoba), *Simarauba amara* (marupa) y *Schizolobiun amazonicum* (Pino Chuncho), frente a la acción destructiva de los hongos xilófagos (*Polyporus sanguineus* y **Shizophyllum comunne**) se clasifica por su durabilidad natural de la madera como “altamente resistente” y “no resistente”, para las dos últimas maderas estudiadas respectivamente.

Los hongos presentaron un comportamiento destructivo diferente en las especies forestales estudiadas (**Swietenia macrophylla** King, *Simarauba amara* y *Schizolobiun amazonicum*), el *Polyporus sanguineus* fue más agresivo que **Shizophyllum comunne**.

Swietenia macrophylla King (caoba) presentó un alto porcentaje de extractivos solubles en alcohol -benceno a comparación de *Simarauba amara* y *Schizolobiun amazonicum*, por lo que se evidencia su resistencia a la pudrición blanca.

EL extracto de la especie forestal **Swietenia macrophylla** King presenta metabolitos como alcaloides, flavonoides, saponinas y taninos, cuyas propiedades fungicidas explican su gran resistencia a la pudrición. Los extractos de las especies forestales *Simarauba amara* y *Schizolobiun amazonicum* cuenta con alcaloides, flavonoides y taninos en menor grado, lo que explica la escasa resistencia que tienen frente a la acción de los hongos xilófagos.

6. RECOMENDACIONES

Realizar estudios de actividad antifúngica in vitro de los extractos naturales de las especies clasificadas como altamente resistentes y resistentes a la pudrición para determinar el principio activo tóxico que les confiere esta resistencia.

Realizar estudios fitoquímico con especies forestales de diferentes procedencias para comprobar si existe una variación en la presencia de metabolitos secundarios según el lugar de origen.

Ampliar el estudio fitoquímico realizado mediante caracterización y cuantificación de los demás metabolitos secundarios determinados en el presente estudio que no fueron estudiados en la presente investigación.

BIBLIOGRAFÍA

Akhtar, M.; Blanchette, R.; Kent, T. 1997. Advances in Biochemical Engineering/ Biotechnology, "Fungal Delignification and Biomechanical Pulping of wood". Vol 57: 159-195.

Alexopoulos, J. 1964. Introducción a la Micología. Segunda edición Universitaria. Buenos Aires - Argentina. 615p.

Aróstegui, A.1976. "Notas de Clases del Curso de Anatomía y Propiedades de la Madera". Universidad Nacional de la Amazonía Peruana, Iquitos – Perú. Pp 3

Asociacao Brasileira de Preservazoe de Madeiras. 1970. Técnicas Para el estudio de pudriciones de la madera. Sao Paulo.Brasil.55p.

ASTM (American Society for Testing and Materials) D 2017-78. Standard Method of accelerated laboratory test of natural decay resistance of woods. Norma tècnica ANSI/ASTM D2017-71, re-editada en 1978.

ASTM (American Society for Testing and Materials) 1990. Standard Method of accelerated laboratory test of natural decay resistance of woods. Norma tècnica ANSI/ASTM D2017-78, re-editada en 1990.

Avalos, D.A. 2011. Estudio de la durabilidad natural de diez especies maderables de Ucayali. PROYECTO PD 512/08 Rev.2 (I). Asociación para la Investigación y Desarrollo Integral(AIDER)

- Barrena, V.; Vargas, C.** 2004. Informe de la Autoridad Científica CITES: La caoba en el Perú. Universidad Nacional Agraria La Molina. Facultad de Ciencias Forestales. Lima, PE. 31 p.
- Bruneton, J.** 2001. Farmacognosia. Fitoquímica. Plantas medicinales. Segunda edición. Zaragoza - España. 1100p
- Cartwright, K; Findlay W. P.** 1958. Decay of Timber and its Preservation. Forest Products Research Laboratory. 301p.
- Clement J, L.**1990. Les Substances Naturelles Insecticides des plantes: Roles et Utilisations dans la Lutte Contre les Ravageurs des Cultures. Bois et Forests des Tropiques. Sommaire du N° 224; 2^a trimestre; 34-38p.
- Colonelli, P.** 1996. Efecto del tratamiento con hongos de pudrición blanca sobre pasta kraft, su refinación y propiedades físico-mecánicas del papel. Tesis Ing. Forestal. Santiago-Chile .Universidad de Chile. 79 p.
- Coimbra, R.** 1994. Manual de Fitoterapia 2^a Ed. - Ed. Cejup - Belem - Brasil .335 p.
- Darrel D. N.**1973. Woods Deterioration and its Prevention by Preservative Treatments. Degradation and Protection of Woods. Syracuse University Press. U.S.A Vol. I.219.p.
- Duran F; Tuset, R.** 1980. Manual de maderas Comerciales, Equipos y Procesos de Utilización. Ed. Hemisferio Sur. Montevideo-Uruguay. 690 p.
- Eaton. Y Hale, M.** 1993. Wood: decay, pests and protection. London.546p.

- Encarnación, F.** 1983. Nomenclatura de las especies forestales comunes en el Perú. Proyecto PNUD/PER/81/002. Documento de trabajo N° 7. 149 p.
- Escuza H. P. A.** 1987. Durabilidad natural de la madera de cinco especies forestales en base a su resistencia a la pudrición. Tesis Ing. Forestal. Lima, Perú, UNALM.125p
- Espinoza Garcia, Francisco** 2001. La diversidad de los metabolitos secundarios y la teoría de la defensa vegetal. En Relaciones químicas entre organismos. Editado por: Ana Anaya et al. Plaza y Valdes. Ciudad de México, México, pp.231-250.
- Fengel, D. Y Wegwerner, H.** 1984. Wood Chemistry ultraestructure and reactions. D.W. de Gruyter, Berlín. 422 p.
- Flores, M.** 2003. “CURSO DE BOTÁNICA SISTEMÁTICA: Apuntes Teóricos y Prácticos”. Universidad Nacional de la Amazonía Peruana – Departamento de Flora. 1 ed. Iquitos – Perú. 126p
- Fougerouse, M.** 1960. Durabilidad Natural de Bois. Revue bois et forest des Tropiques. 14p.
- Franca D, Taden Y Silva.** 1986. Agentes destructores de Madeira. Instituto de Pesquisas Tecnologicas do Estado de Sao Paulo. Manual de Perservacao de Madeiras. Sao Paulo-Brasil. Vol I.278p.

Gálvez, A.N. 2001. Determinación de la composición química de madera de pino insigne (*Pinus radiata* D. Don) sometida a la acción de dos hongos de pudrición blanca. 60 p. Tesis Ingeniero Forestal. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Forestales, Santiago, Chile.

García ESteben, L.; Palacios De Palacios, P.; GuinDEO Casasús, A.; Peraza Oramas, C. 2003. “La Madera y su Anatomía. Editorial Mundi – Prensa. Primera Edición. Madrid – España. 2003. 327 p..

Gonzales, A. 1998. Durabilidad adquirida en madera de tres especies comerciales de baja durabilidad natural. Tesis Mag. Sc. Lima - Perú. UNALM,113p

Gonzales, F. 1981. Patología Forestal. Notas de clase. Facultad de Ciencias Forestales. UNALM. Lima- Perú. 82p.

Gonzales, R. 1970. Durabilidad natural de 53 especies forestales de Yurimaguas. Revista Forestal del perù. 4 (1-2): 50-74 p.

Harborne, Jeffrey 1999 a. phytochemical dictionary: a handbook of bioactive compounds from plants. Segunda edición.CRC Press. Londres, Reino Unido. 976p.

Harborne, Jeffrey 1999 b. Classes and function of secondary products from plants. Chapter 1 of: Chemicals from plants: perspectives on plant secondary products. Editado por: Walton, Nicholas et al. World Scientific. Londres, Reino Unido.

Hunt, G. M; Garrat, L. 1952. Preservación de la Madera. Ed. Salvat. Barcelona-España.426p.

- Kollman, F; Cote,W.** 1984. Principles of Wood Science and Technology; Solid Wood-Wood Based Materials. Berlin. Vol. I-II.
- Kuhad, R.C.; Singh, A; Eriksson, K.** 1997. Biotechnology in the Pulp and paper Industry, microorganisms and their enzymes involved in the degradation of plant fiber cell walls.125p.
- INDECOPI** 1996. Valor tóxico y permanencia de preservadores de la Madera en condiciones de laboratorio. Norma ITINTEC 251.027, re-editado en 1996.
- Junta Nacional De Cartagena** 1988. Manual del Grupo Andino para la preservación de las maderas Junta Acuerdo de Cartagena- Comunidad Económica Europea. Bogotá 368p.
- Lamb, B.** 1966. Mahogany of Tropical America: its Ecology and Management. University of Michigan. 220 p.
- Langenheim, J. H.** 1984. The roles of plant secondary metabolites in wet tropical ecosystems. Pp 189-207. En: MEDINA, E. et al .Physiological ecology of plants of the wet tropics.
- Lara K.** 1999. Estudio de Alternativas para el Desamargado de Chocho (*Lupinus mutabilis Sweet*). Tesis de Doctor en química. Riobamba-Ecuador: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Facultad de Ciencias. Pp 187-189
- Lock De Ugaz; Olga** 1994. Investigación Fitoquímica. Segunda edición. Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima, Perú.300p.
- Navarro, C.** 1999. Diagnóstico de la Caoba (*Swietenia macrophylla*) en Mesoamérica.Silvicultura-Genética. San José, CR, Centro Científico Tropical. 25 p.

- Martinez, J.B.** 1952. Conservación de la Madera en su Aspecto Técnico, Industrial y Económico. Instituto de Investigaciones y Experiencias. Madrid-España.550p.
- MINSAP** ,1992. NRSP (Norma Ramal de Salud Pública) 309. Medicamentos de origen vegetal. Métodos de ensayo.Cuba.
- Morrel, J.F &Zabel, R. A** 1987. Partial Delignification of Wood. Its Effect on the Action of Soft Rot Isolated from Preservative – Treated Southern Pines. Materials and Organisms 22. 215-224.
- Pavlich, M.**1976. Ascomycetes y Basidiomycetes del Perú con énfasis en especies de cepa de montaña y selva tropical. Memorias del Museo de Historia Natural “Javier Prado” N° 17 UNALM. Lima –Perú.86p.
- Panshin, A. J., Dezeuw,C.** 1980. Textbook of Wood Technology. 4ta Ed. Mc. Graw-Hill-Book Company. 720p.
- Pennington, T.** 1981. Flora Neotropica: Monograph Meliaceae N° 28. The New York Botanical Gardens. 472 p.
- Pennington, TD.** 2002. Mahogany carving a future. Biologist 49(5): 204-208.
- PEREZ, L.** 1999. “Obtención y análisis preliminar de los extractivos de corteza del remo caspi y renaquilla”. Tesis Ing. Forestal. Lima-Perú, Universidad Nacional de la Amazonia Peruana. 68p.
- Pesson, P.** 1978. Ecología Forestal. Ediciones Mundi Prensa. Madrid – España. 393p.

- Pesutic, S.** 1978. Análisis de estructura-estado sanitario en un bosque de Lengua. Memoria Ingeniería Forestal. Santiago, Chile. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Forestales.
- Pinedo, R.** 1999. “Obtención y análisis preliminar de los extractivos de corteza de dos especies vegetales de uso medicinal en Iquitos”. Tesis Ing. Forestal. Ucayali-Perú. Universidad Nacional de la Amazonia Peruana. 70p.
- Pino, R.** 2002. Durabilidad natural de tres maderas de diferentes edades a la acción de tres hongos xilófagos. Tesis Ing. Forestal. Lima-Perú, UNALM. 103p
- Quinde, A.A.** 1984. Fundamentos de Química de la Madera. UNA-La Molina. Dpto. Académico de Química. Lima-Perú. 165p.
- Reynel, C, Pennington R, Pennington T, Flores C, Daza A.** 2003. Árboles útiles de la Amazonía Peruana. Manual con apuntes de identificación, ecología y propagación de las especies. Perú
- Rengifo R, J.** 1990. Durabilidad Natural de la Madera de Nueve Especies Forestales de la Familia Bombacaceae. Tesis Ing. Forestal. Lima-Perú, UNALM. 134p.
- Rodriguez, B.J.** 1976. Tratamiento y Conservación de la Madera. Instituto de Ingenieros Civiles de España. Madrid. 153p.
- Roff J,W.; Whittaker E,I.** 1959. Toxicity Tests of a New Tropolone, β -Thujaplicinol (7-hidroxy-4-isopropyltropolone) Occurring in Western Red Cedar. Canadian Journal of Botany 37(1):1,132-1,134.

- Rosenthal, G & Berenbaum, M.** 1991. *Herbivores: their interaction with secondary plant metabolites*. Segunda edición. Academic Press. Londres, Reino Unido. 468p.
- Salisbury, Frank** 2000. Fisiología de las plantas. Título original: plant physiology. Traducido por: José Alonso. Thomson Editores Spain. Madrid, España. 985p.
- Santini, E.** 1988. Biodeterioração e preservação da Madeira. Centro de Pesquisas Forestais. Santa Maria. Brasil. 125p.
- Scheffer T.C.; Duncan C.G.** 1947. The decay Resistance of Certain Central American and Ecuatorian Woods. *Tropical Woods* 92(1): 1-240.
- Sing, A.P. & Kim, Y.S.,**1997. Biodegradation of Wood in wet environments: a review. The International research group of Wood Preservation. Document N° IRG/WP 97-10217.
- Smith, W.** 1970. Tree pathology. A short introduction. London, Academic Press. 309p.
- Soares C.M.** 1971. Métodos de Avaliação da Resistência de Madeira ao Ataque de Fungos Xilófagos. Sao Paulo-Brasil. *Preservação de Madeiras* 2(1): 27-47.
- Taranco, M y Cabudivo, A.** 1995. “Estudio químico preliminar de cinco especies forestales usadas en madera tradicional en la selva baja de la amazonia peruana”. Facultad de Ingeniería Forestal. Universidad Nacional de la Amazonia Peruana. Iquitos. 60p.
- Trigoso, J.; Stern, M.; León, F.; ReáteguI, F.** 2002. Análisis del estado de conservación de la caoba (*Swietenia macrophylla*) en el Perú. Lima, PE. 87 p.

- Trujilo C.F.** 1985. Durabilidad Natural de Ocho Especies Forestales del Perú en Medio Nutritivo Natural. Tesis Ing. Forestal Lima, Perú, PACF UNALM. 132 - 151p.
- Trujilo C.F.** 1992. Índice de resistencia de la madera de cinco especies forestales a la acción de 2 hongos xilófagos Tesis, Escuela de Post – Grado 94 p.
- Valencia, Ciria** 1995. Fundamentos de Fitoquímica. Editorial Rillas. Ciudad de México, México.235p.
- Viitanen, H., L. Pajanen, P.Saranpaa Y P. Vitaniemi.** 1997. Durability of larch (*Larix* sp) Wood against brownrot fungi. The International Research Group on Wood Preservation. Document núm. IRG/WP/97-10228.
- Weininger, s. y Stermitz F.** 1988. Química Orgánica. Editorial Reverté S.A. España. 1210 pp.
- Worral, J.; AnagnosT, S.; Zabel, R.** 1997. Comparison of wood decay among diverse lignicolous fungi. Mycologia, 89 (2): 199-219.
- Yataco, P.A.** 1986. Durabilidad natural de la madera de madre de Dios a la acción de tres hongos xilófagos. Lima, Perú, PACF UNA La Molina. 108 p.

ANEXO 1

DESCRIPCIÓN DE LOS HONGOS XILÓFAGOS EMPLEADOS EN EL ESTUDIO

***Polyporus sanguineus* L. ex. Fr.**

- Reino Fungi
- División: Mycophyta
- Subdivisión Eumycotyna
- Clase: Basidiomycete
- Subclase Homobasidiomycetidae
- Orden: Polyporales
- Familia: Polyporaceae
- Género: Polyporus
- Especie Sanguineus
- Nombre científico: ***Polyporus sanguineus* L. ex. Fr.**
- Sinonimia : ***Pycnoporus sanguineus* Murr.**
***Pycnoporus sanguineus* L.ex.Fr.**
***Pycnoporus coccineus* Fr. Bondy sing.**
***Polycitius sanguineus* (L.ex.Fr). Mey.**
***Coriolus sanguineus* (Fr.) GH. Conn.**
***Trametes cinnabarina* (jacq. Ex. Fr.)**

Características macroscópicas

Cuerpos fructíferos con forma de repisa, semicirculares y de consistencia parecida al corcho cuando está fresco. El píleo tiene 1,5-4,5 cm de ancho y 1-4 cm de largo. La superficie es aterciopelada cuando muy joven y lisa cuando adulto, algunas veces rugosa, rojo anaranjado brillante cuando está húmedo y anaranjado rojizo o anaranjado amarillento cuando está muy seco.

Características microscópicas

Sistema Hímal trimítico, hifas generativas hialinas, con pared delgada y septo tipo fabulado, hifas esqueléticas hialinas de pared gruesa, hifas ligadoras muy ramificadas; basidias clavadas con 4 esterigmas; basidiosporas hialinas, cilíndricas, ovoides, unicelulares, pared lisa y de 5,3 x 2,7 μm ; no presenta cistidia ni seta.

Hábitat

Esta especie está ampliamente distribuida en las zonas tropicales habiéndose registrado en Ghana, Guayana, India, Nueva Zelanda y muchos países más. En el Perú esta ampliamente distribuida en nuestros bosques tropicales. Es un hongo lignícola causando una pudrición blanca. Pavlich(1976).



Figura 24 Hongo *Polyporus sanguineus*

***Schizophyllum commune* Fries.**

- Reino Fungi
- División: Basidiomycota
- Subdivisión Basidiomycotina
- Clase: Basidiomycete
- Subclase Basidiomycetidae
- Orden: Agaricales
- Familia: Schizophyllaceae
- Género: Schizophyllum
- Especie Commune
- Nombre científico ***Schizophyllum commune* Fries.**
- Sinonimia ***Schizophyllum radiatum* Swartz ex fries.**
***Schizophyllum alneum* (L.) Schoroet.**
***Schizophyllum multifidum* Fr.**

Características macroscópicas

Hongos que desarrollan cuerpos fructíferos con un sombrero de 2 a 5 cm de diámetro, con forma de concha y lobulado. Es coriáceo de textura lanosa, de color blanquecino o grisáceo.

El himenio o parte fértil aparece en falsas láminas hendidas longitudinalmente color canela.

Características microscópicas

Esporas hialinas, cilíndricas-elipsoides, de 2,8-3,1x 5,7-6,0 micras, de margen entero, lisas y polinucleadas. Sistema Hial monolítico; hifas generativas hialinas, con septos fabulados, paredes gruesas; basidias clavadas de 6,0 micras de largo por 2,5 micras de ancho; basidiosporas cilíndricas a elipsoidales, hialino, de pared delgada, margen entero, lisa de 2,7 micras de largo por 5,0 micras de ancho.

Hábitat

Es uno de los hongos más ampliamente distribuido, se produce en todos los continentes excepto la Antártida. Es un hongo lignícola saprofito, causando una pudrición blanca; crecen formando grupos, localizándose en todos los meses del año. Pavlich (1976).



Figura 25 Hongo *Shizophyllum commune*

Cuadro 12 Variaciones de peso en probetas de Caoba "*Swietenia macrophylla*" " luego de 12 semanas de incubación

N° de Probeta	<i>Shizophyllum commune</i>				<i>Polyporus sanguineus</i>			
	PSI	PSF	%PP	PSI	PSF	PSI	PSF	%PP
1	4,5940	4,4250	3,68	4,0380	3,7929	4,0380	3,7929	6,07
2	4,1565	3,9876	4,06	3,8289	3,6763	3,8289	3,6763	3,99
3	4,4372	4,1891	5,59	4,4129	4,2443	4,4129	4,2443	3,82
4	4,3335	4,1056	5,26	4,1021	3,8762	4,1021	3,8762	5,51
5	4,3911	4,1852	4,69	3,9481	3,7882	3,9481	3,7882	4,05
6	3,8936	3,6941	5,12	4,1253	3,9474	4,1253	3,9474	4,31
7	4,0741	3,9423	3,24	4,2016	3,8863	4,2016	3,8863	7,50
8	4,3580	4,1820	4,04	3,9968	3,8110	3,9968	3,8110	4,65
9	4,1516	3,9461	4,95	3,9350	3,8081	3,9350	3,8081	3,22
10	4,6309	4,4123	4,72	4,2745	3,9818	4,2745	3,9818	6,85

PSI= Peso Seco Inicial PSF= Peso seco final PP= Pérdida de peso

Cuadro 13 Variaciones de peso en probetas de Marupa “*Simarouba amara*” ” luego de 12 semanas de incubación

N° de Probeta	<i>Shizophyllum commune</i>				<i>Polyporus sanguineus</i>				
	PSI	PSF	%PP	PSI	PSF	%PP	PSI	PSF	%PP
1	3,5849	2,6145	27,07	3,9561	2,0121	49,14			
2	3,6439	2,6894	26,19	3,8882	2,1012	45,96			
3	3,5646	2,5463	28,57	3,4401	1,9810	42,41			
4	3,7823	2,7911	26,21	3,6958	1,9450	47,37			
5	3,9332	2,8346	27,93	3,6910	1,9810	46,33			
6	3,6673	2,5633	30,10	3,5908	1,9821	44,80			
7	3,8939	2,8955	25,64	3,5357	1,9910	43,69			
8	3,5924	2,6022	27,56	3,5494	1,7620	50,36			
9	3,6881	2,7861	24,46	3,8135	1,8234	52,19			
10	3,7021	2,8113	24,06	3,7893	1,9812	47,72			
PSI= Peso Seco Inicial	PSF= Peso seco final	PP= Pérdida de peso							

Cuadro 14 Variaciones de peso en probetas de Pino chuncho “*Schizolobium amazonicum*” luego de 12 semanas de incubación

		<i>Shizophyllum commune</i>				<i>Polyporus sanguineus</i>			
N° de Probeta	PSI	PSF	%PP	PSI	PSF	%PP	PSI	PSF	%PP
1	3,4215	2,2908	33,05	3,6087	1,8999	47,35			
2	3,4280	2,4906	27,35	3,5918	1,9842	44,76			
3	3,3916	2,2950	32,33	3,4068	1,8944	44,39			
4	3,2267	2,1545	33,23	3,4359	1,8945	44,86			
5	3,3541	2,0400	39,18	3,6104	1,8842	47,81			
6	3,3824	2,5266	25,30	3,2963	1,7858	45,82			
7	3,0282	1,8952	37,41	3,3779	1,7752	47,45			
8	3,4188	2,5253	26,13	3,4759	1,8875	45,70			
9	3,3248	2,3515	29,27	3,6116	1,8996	47,40			
10	3,1347	2,0651	34,12	3,3431	1,7781	46,81			
PSI=	Peso Inicial	PSF=	Peso seco final	PSI	PSF=	Pérdida de peso			

Cuadro 15 Determinación de la pérdida de peso en porcentaje de la caoba (*Swietenia macrophylla*) a la acción de dos hongos xilófagos.

Perdida de Peso de Caoba (<i>Swietenia macrophylla</i>)		
Bloque	<i>Shizophyllum comunne</i>	<i>Polyporus sanguineus</i>
1	3,68	6,07
2	4,06	3,99
3	5,59	3,82
4	5,26	5,51
5	4,69	4,05
6	5,12	4,31
7	3,24	7,50
8	4,04	4,65
9	4,95	3,22
10	4,72	6,85
Sumatoria	45	50
Promedio	4,5	5,0

Cuadro 16 Análisis de Varianza para determinar la durabilidad de Caoba (*Swietenia macrophylla*) a la acción de dos hongos xilófagos con respecto a la variable Pérdida de Peso.

Fuente de Variación	Gl	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	Fc	P_Valor
Bloque	9	6,29	0,69888	0,3705	0,9224
Tratamiento	1	1,0679	1,06787	0,5662	0,471
Residuales	9	16,9751	1,88612		

$$H_0 : \mu_{Sh} = \mu_{Po}$$

$$H_1 : \mu_{Sh} \neq \mu_{Po}$$

$$\alpha = 0.01$$

$$F \text{ calculado} = 0.5662 < F \text{ Tab} = 10.56143$$

Luego se Acepta H_0 .

Cuadro 17 Determinación de la pérdida de peso en porcentaje de la marupa (*Simarauba amara*) a la acción de dos hongos xilófagos.

Perdida de Peso de Marupa (<i>Simarauba amara</i>)		
<i>Bloque</i>	<i>Shizophyllum comunne</i>	<i>Polyporus sanguineus</i>
1	7,07	49,14
2	26,19	45,96
3	28,57	42,41
4	26,21	47,37
5	27,93	46,33
6	30,10	44,80
7	25,64	43,69
8	27,56	50,36
9	24,46	52,19
10	24,06	47,72
Sumatoria	268	470
Promedio	26,8	47,0

Cuadro 18 Análisis de Varianza para determinar la durabilidad de marupa (*Simarauba amara*) a la acción de dos hongos xilófagos con respecto a la variable Perdida de Peso.

Fuente de Variación	GI	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	Fc	P_Valor
Bloque	9	33,54	3,73	0,4233	0,8918
Tratamiento	1	2043,61	2043,61	232,1168	9,85E-08
Residuales	9	79,24	8,8		

$$H_0 : \mu_{Sh} - \mu_{Po}$$

$$H_1 : \mu_{Sh} \neq \mu_{Po}$$

$$\alpha = 0.01$$

$$F \text{ calculado} = 232,1168 > F \text{ Tab} = 10,56143$$

Luego se Rechaza Ho.

Cuadro 19 Determinación de la pérdida de peso en porcentaje de la pino (*Schizolobium amazonicum*) a la acción de dos hongos xilófagos.

Perdida de Peso de Pino (<i>Schizolobium amazonicum</i>)		
Bloque	<i>Shizophyllum comunne</i>	<i>Polyporus sanguineus</i>
1	33,05	47,35
2	27,35	44,76
3	32,33	44,39
4	33,23	44,86
5	39,18	47,81
6	25,30	45,82
7	37,41	47,45
8	26,13	45,70
9	29,27	47,40
10	34,12	46,81
Sumatoria	317	462
Promedio	31,7	46,2

Cuadro 20 Análisis de Varianza para determinar la durabilidad de pino (*Schizolobium amazonicum*) a la acción de dos hongos xilófagos con respecto a la variable Peso Seco Final.

Fuente de Variación	Gl	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	Fc	P_Valor
Bloque	9	132,86	14,76	1,7097	0,2183
Tratamiento	1	1050,97	1050,97	121,72	1,57E-06
Residuales	9	77,71	8,63		

$$H_0 : \mu_{Sh} = \mu_{Po}$$

$$H_1 : \mu_{Sh} \neq \mu_{Po}$$

$$\alpha = 0.01$$

F calculado = 121,72 > F Tab = 10.56143

Luego se Rechaza Ho.