



BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

**COMPLEJO REGIONAL NORTE – SEDE TETELA
PROGRAMA DE INGENIERÍA AGROFORESTAL**

**DURABILIDAD DE LA MADERA DE CUATRO ESPECIES
FORESTALES, EN TETELA DE OCAMPO, PUEBLA**

**TESIS PROFESIONAL
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
LICENCIADA EN INGENIERÍA AGROFORESTAL**

**PRESENTA:
MIREYA CARMONA MORENO**

**DIRECTOR DE TESIS:
DR. JESÚS MAO ESTANISLAO AGUILAR LUNA**

TETELA DE OCAMPO, PUEBLA, JUNIO 2021



BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

**COMPLEJO REGIONAL NORTE – SEDE TETELA
PROGRAMA DE INGENIERÍA AGROFORESTAL**

**DURABILIDAD DE LA MADERA DE CUATRO ESPECIES
FORESTALES, EN TETELA DE OCAMPO, PUEBLA**

**TESIS PROFESIONAL
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
LICENCIADA EN INGENIERÍA AGROFORESTAL**

**PRESENTA:
MIREYA CARMONA MORENO**

**DIRECTOR DE TESIS:
DR. JESÚS MAO ESTANISLAO AGUILAR LUNA**

**ASESORES:
M.C. BENJAMÍN BARRIOS DÍAZ
M.C. MARÍA DEL ROSARIO HERNÁNDEZ TAPIA**

TETELA DE OCAMPO, PUEBLA, JUNIO 2021

La presente tesis titulada: **Durabilidad de la madera de cuatro especies forestales, en Tetela de Ocampo, Puebla**. Realizada por la alumna **Mireya Carmona Moreno**, ha sido revisada y aprobada por el siguiente consejo particular, para obtener el título de:

**LICENCIADA EN INGENIERÍA AGROFORESTAL
COMPLEJO REGIONAL NORTE – SEDE TETELA**

Consejo particular integrado por:

Firma

Director: Dr. Jesús Mao Estanislao Aguilar Luna

Asesor: M.C. Benjamín Barrios Díaz

Asesora: M.C. María del Rosario Hernández
Tapia

Tetela de Ocampo, Puebla, junio 2021

El presente trabajo forma parte del Cuerpo Académico: **BUAP - CA 234 - Sistemas Agroforestales y Agrícolas Sostenibles**; y de la Línea de **Generación y Aplicación del Conocimiento: Agroforestería y Manejo Integrado de Cultivos**. Dicho trabajo, fue financiado con recursos propios.

AGRADECIMIENTOS

Me gustaría agradecer en estas líneas la ayuda que muchas personas me han brindado para la realización de este trabajo.

Principalmente agradezco a Dios, por haberme dado la vida por guiarme a lo largo de mi existencia y permitirme haber llegado hasta este momento, tan importante de mi formación profesional.

A mis padres, quienes me dieron la vida y han estado conmigo apoyándome en todo momento. Gracias por darme una carrera para mi futuro; por ser los principales promotores de mis sueños; por confiar y creer en mis expectativas, por los consejos y valores que me han enseñado.

A mis maestros, por haber compartido sus conocimientos a lo largo de la formación de mi profesión en especial a mi director, Dr. Jesús Mao Estanislao Aguilar Luna y a mis asesores: M.C. Benjamín Barrios Díaz y M.C. María del Rosario Hernández quienes me guiaron con su paciencia y su rectitud como docentes para así poder concluir mi trabajo.

A la BUAP, por mi formación como Ingeniera Agroforestal.

A mis compañeros y amigos, estén donde estén, ya que con ellos compartí buenos momentos; gracias por todo su tiempo y su amistad.

Al personal administrativo y a todas las personas que de alguna forma contribuyeron a la realización de ésta meta.

DEDICATORIAS

Esta tesis es una parte muy importante en mi vida y una meta cumplida; y con ella muchos sueños y anhelos, por eso con mucho amor y cariño le dedico este trabajo en especial:

A mis padres: José Luis y Noemí, quienes con su amor incondicional, paciencia y su gran esfuerzo, me han permitido hoy cumplir un sueño más; gracias por inculcar en mí el ejemplo de valentía y así poder seguir siempre adelante.

A mis hermanas:

Rosmy, por el apoyo que me brindo en el trayecto de mi carrera, por estar ahí cada que la necesitaba.

Nancy, por estar siempre presente, por su cariño consejos y apoyo incondicional durante todo este proceso.

Brenda, por apoyarme desde principio a fin, por siempre motivarme a salir adelante y así nunca rendirme.

CONTENIDO

	Página
RESUMEN.....	xiii
SUMMARY.....	xiv
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Planteamiento del problema.....	2
1.2. Objetivos.....	2
1.3. Hipótesis.....	3
2. REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
2.1. Madera.....	4
2.2. Durabilidad natural de la madera.....	7
2.3. Importancia de la durabilidad natural.....	9
2.4. Agentes destructores de la madera	10
2.4.1. Hongos.....	11
2.5. Factores que influyen en el desarrollo de hongos en la madera.....	15
2.6. Propiedades mecánicas de la madera.....	17
2.7. Descripción de las maderas de estudio.....	21
2.7.1. <i>Alnus acuminata</i>	21
2.7.2. <i>Platanus mexicana</i>	22
2.7.3. <i>Pinus patula</i>	23
2.7.4. <i>Quercus rugosa</i>	24
2.8. Normas oficiales para la clasificación y tratamiento de maderas: Norma Europea UNE-EN	25
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	26
3.1. Área de estudio	26
3.2. Especies utilizadas.....	26
3.3. Muestras.....	27

3.4. Métodos de preservación.....	28
3.5. Diseño experimental.....	28
3.6. Variables de respuesta.....	29
3.7. Análisis estadístico	31
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	32
4.1. Contenido de humedad	32
4.2. Pérdida de masa	33
4.3. Determinación de la durabilidad natural.	34
4.4. Área deteriorada por hongos	35
4.5. Propiedades mecánicas	39
5. CONCLUSIONES.....	42
LITERATURA CITADA.....	43
ANEXOS.....	49

LISTA DE CUADROS

Cuadro		Página
1	Clasificación de la madera por su durabilidad, en diferentes especies forestales	5
2	Clasificación de diferentes especies forestales útiles por su madera	10
3	Clasificación para la flexión estática.....	18
4	Clasificación según la compresión paralela a las fibras (kg/cm ²)..	18
5	Clasificación de la madera según valores para la dureza Janka...	19
6	Clasificación para corte paralelo a las fibras (kg/cm ²).....	19
7	Clasificación de durabilidad según la Norma Europea UNE-EN.	25
8	Diseño de tratamientos (factores, niveles y la combinación de ellos)	27
9	Durabilidad natural de la madera de cuatro especies forestales .	35
10	Propiedades mecánicas de las maderas de cuatro especies forestales, de acuerdo con su contenido de humedad.....	41

LISTA DE FIGURAS

Figura		Página
1	Morfología de la madera en corte transversal.....	7
2	Pudrición blanca en la madera de pino.....	12
3	Pudrición blanda en restos de una troza de madera, cuando esta se presenta, hay una pérdida significativa de resistencia	13
4	Pudrición parda común en pinos y abetos	13
5	Pudrición café provoca un rápido deterioro en la resistencia de la madera infestada	14
6	Pudrición azul en la madera de pino	15
7	Madera y árbol de <i>A. acuminata</i>	21
8	Madera y árbol de <i>P. mexicana</i>	22
9	Madera y árbol de <i>P. patula</i>	23
10	Madera y árbol de <i>Q. rugosa</i>	24
11	Condiciones climáticas del sitio experimental.....	26
12	Contenido de humedad (%) en la madera de cuatro especies forestales en Tetela de Ocampo, Puebla.....	33

13	Pérdida de masa (%) en la madera de cuatro especies forestales en Tetela de Ocampo, Puebla.....	34
14	Área deteriorada (cm ²) por hongos xilófagos en madera preservada, A) en seco, B) en húmedo, C) con barniz; en Tetela de Ocampo, Puebla.....	38
15	Muestras de madera de las especies evaluadas con incidencia de hongos.....	39

LISTA DE ANEXOS

Anexo		Página
1	Promedio de condiciones climáticas del sitio experimental	49
2	ANOVA para la variable de contenido de humedad.....	49
3	ANOVA para la variable de pérdida de masa.....	49
4	Análisis multivariado (MANOVA) para la variable de área deteriorada.	50

DURABILIDAD DE LA MADERA DE CUATRO ESPECIES FORESTALES, EN TETELA DE OCAMPO, PUEBLA

RESUMEN

La madera por ser un material orgánico, está expuesta a diversos tipos de deterioro causados por distintos agentes de origen biológico, influenciados a su vez por diversos factores de diferente índole. Entre éstos, los problemas de biodeterioro son los más importantes para productos forestales maderables. El objetivo de este trabajo fue evaluar la durabilidad de la madera de cuatro especies forestales maderables y determinar el área de deterioro causado por hongos a nivel de piso forestal así como determinar las propiedades mecánicas de la madera; en Tetela de Ocampo, Puebla, México. Para lo cual, se empleó un diseño completamente al azar, con cuatro especies: *Alnus acuminata* (Aa), *Platanus mexicana* (Pm), *Pinus patula* (Pp), *Quercus rugosa* (Qr) y tres métodos de preservación de la madera: durabilidad en seco (DS), durabilidad en húmedo (DH) y durabilidad con barniz (DB), para así tener 12 tratamientos con 10 repeticiones cada uno. Los resultados indicaron que la madera que tuvo mayor incidencia de hongos fue a la que se colocó recién cortada (DH), seguido de la madera que fue secada en la estufa (DS) que se vio una disminución de ataque de hongos, mientras que para el método de preservación (DB) no se presentó ninguna incidencia para las cuatro especies forestales evaluadas en el presente experimento. La madera de *Q. rugosa* mostró la menor incidencia de hongos durante el experimento en los diferentes métodos de preservación, mientras que la mayor incidencia de hongos se mostró en la madera *A.acuminata*.

Palabras clave: barniz, hongos, índices de durabilidad, piso forestal, propiedades mecánicas.

DURABILITY OF THE WOOD OF FOUR FOREST SPECIES, IN TETELA DE OCAMPO, PUEBLA

SUMMARY

The Wood for being an organic material, is exposed to diverse types of deteriorations caused for a different biological origin agents, influenced in turn by diverse causes of a different nature. Among these, the problems of the bio deteriorate are the most important for the timber forest products. The objective of this work was to evaluate the durability of the wood from the four timber forest species and determinate the deteriorated area caused by a fungi in the level forestry floor, as well to determine the mechanical wood properties; in Tetela de Ocampo, Puebla, Mexico. For wich, was used a completely random design with the four species: *Alnus acuminata* (Aa), *Platanus Mexicana* (Pm), *Pinus patula* (Pp) and *Quercus rugosa* (Qr) and the three methods of wood preservation: Dry durability (DD), wet durability (WD) and Varnish durability (VD), for obtain 12 treatments with 10 repetitions each one. The results indicated the wood that had the highest incidence of fungi was placed freshly cut (WD), followed by the wood that was dried in the stove (DD), that showed a decrease of fungi attack, while with the method of preservation (VD) does not presented any incidence in the four forest species evaluated in the present experiment. The wood of *Q. rugosa* she showed a lowest incidence of fungi in the experiment with the different methods of preservation, while that the biggest incidence of fungi was showed in the wood *A. acuminata*.

Key words: varnish, fungi, durability indices, forest floor, mechanical properties.

1. INTRODUCCIÓN

En nuestro país, los bosques representan una valiosa riqueza al contar con una gran variedad de especies forestales maderables, pero a pesar de eso no se pueden aprovechar todas ellas debido a la falta de información de su durabilidad o de su mala durabilidad.

La madera por ser un material orgánico, está expuesta a diversos tipos de deterioro causados por distintos agentes de origen biológico, influenciados a su vez por diversos factores de diferente índole. Entre éstos, los problemas de biodeterioro son los más importantes para productos forestales maderables.

La durabilidad de la madera frente al ataque de hongos es muy importante desde el punto de vista económico tanto como tecnológico, ya que si se conoce la durabilidad de las distintas especies forestales se pueden prevenir importantes pérdidas causadas por la susceptibilidad de la madera al ataque de los hongos xilófagos, esto ayuda a originar nuevas opciones para su uso, lo que permite tener diferentes alternativas para su comercialización. Por lo cual, este trabajo de investigación tiene como finalidad evaluar la durabilidad de cuatro especies forestales maderables en Tetela de Ocampo: *Alnus acuminata* Kunth, *Platanus mexicana* Moric, *Pinus patula* Schiede ex Shldl. et Cham. y *Quercus rugosa* Neé.

Para determinar el grado de deterioro causado por hongos se obtuvieron 30 muestras de madera por cada especie de las cuales se utilizaron dos métodos de preservación (secado en estufa y producto químico) y 10 repeticiones; mismas que fueron llevadas a campo recién cortadas para así poder comparar y determinar la durabilidad de cada especie forestal. El experimento se realizó en Tetela de Ocampo, Puebla, con la finalidad de poder conocer la diferencia de tiempo (durabilidad) que se tiene al aplicar un tratamiento en comparación con la madera recién cortada y así poder determinar qué tan factible es usar algún producto químico (barniz).

Por lo tanto, la estructura metodológica y el contenido de esta investigación, se encuadró en el protocolo tipo EXPERIMENTO; dado que sus dicotomías en la matriz de clasificación de la investigación científica, corresponden a lo siguiente: es **experimental**, porque se modificó a voluntad una o más variables del fenómeno estudiado (muestras de madera de diferentes especies forestales); donde el aspecto fundamental de este estudio fue conocer la durabilidad de dichas maderas. Fue **prospectivo**, porque la información que se ocupó en la investigación se recogió de acuerdo a los criterios del investigador y para los fines específicos de la investigación (durabilidad natural de la madera), después de plantear dicha investigación. Fue **longitudinal**, porque las mediciones en las variables de respuesta se hicieron a los nueve meses (que fue lo que duró la investigación); lo cual implicó un seguimiento para evaluar la durabilidad de la madera en cuatro especies forestales. Fue **comparativo**, de causa a efecto, porque se estudió el factor causal (factores bióticos que degradan la madera) en más de dos tratamientos, evaluando variables para contrastar hipótesis; por lo tanto, se trató de un diseño con experimento clásico.

1.1. Planteamiento del problema

¿Qué porcentaje de ataque de hongos en la madera de las especies: *A. acuminata*, *P. mexicana*, *P. patula* y *Q. rugosa*, se puede disminuir usando métodos de preservación, expuestas totalmente a nivel de piso forestal?

1.2. Objetivos

Evaluar la durabilidad de la madera de las especies: *A. acuminata*, *P. mexicana*, *P. patula* y *Q. rugosa*, a nivel de piso forestal en un bosque templado.

Determinar área de deterioro causado por hongos en las especies: *A. acuminata*, *P. mexicana*, *P. patula* y *Q. rugosa* en la madera preservada como en la no preservada, hasta los nueve meses de observación.

Determinar las propiedades mecánicas (flexión estática, compresión, cizallamiento y dureza Janka) de la madera: *A. acuminata*, *P. mexicana*, *P. patula* y *Q. rugosa*.

1.3. Hipótesis

Sí se le da un proceso de secado (en estufa) a la madera, entonces ésta tendrá hasta un 50 % de mayor resistencia al ataque de hongos en comparación con la madera sin secar.

Sí se aplica a la madera un tratamiento preservativo a base de barniz y después se expone durante nueve meses a nivel de piso forestal de un bosque templado; entonces ésta no será atacada por ningún hongo.

Sí se conocen las propiedades mecánicas de la madera de *A. acuminata*, *P. mexicana*, *P. patula* y *Q. rugosa*, entonces se puede determinar si hay relación en cuanto a su durabilidad de estas especies.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Madera

La madera ha sido considerada por los historiadores como el primer material empleado para el hombre tanto para la construcción de sus casas como para la elaboración de herramientas de trabajo y caza. Se le denomina madera al conjunto de tejidos que forman el tronco, las raíces y las ramas de los vegetales leñosos, excluida la corteza. Está formada por un grupo de células especializadas en tejidos que realizan las funciones fundamentales del vegetal: la transformación, la conducción de la savia, el sostén del vegetal y el almacenamiento de los productos vitales.

La madera es un grupo importante del carbono orgánico, cuyos componentes estructurales de la pared celular incluyen lignina, celulosa y hemicelulosa. La celulosa es resistente a la descomposición, en particular en su forma cristalina, la cual es altamente ordenada, mientras que la lignina forma una matriz densa que protege los carbohidratos del ataque enzimático (De la Cruz-Carrera *et al.*, 2018).

La madera está compuesta por abundantes células, la pared celular es flexible y fina, al pasar el tiempo esta se endurece, sobre todo, por acumulación de celulosa, sustancia macromolecular de los glúcidos y lignina, sustancia que le otorga impermeabilidad y rigidez. Las fibras de celulosa forman un entramado, en el cual se almacena la lignina, sólo cuando esta se ha depositado en la pared celular se forma la madera. La célula de madera acabada es rígida, dura y de forma definitiva, estas cumplen diferentes funciones dependiendo del árbol: los árboles frondosos tienen células conductoras, de sostén, y de almacenamiento como el *Quercus robur* Limousin) o *Tectona grandis* Linn F. Las maderas blandas, en lugar de las células conductoras y las de sostén, tienen una forma mixta y, también, las de almacenamiento como los *Cupressus sempervirens* L. o *P. patula* (Cuadro 1) (Aguilar *et al.*, 2011).

Cuadro 1. Clasificación de la madera por su durabilidad, en diferentes especies forestales.

Especie	Nombre común	Tipo de madera
<i>Abies religiosa</i>	oyamel	blanda
<i>Alnus acuminata</i>	aile	blanda
<i>Bursera simaruba</i>	chacáh roja	blanda
<i>Cedrela odorata</i>	cedro rojo	blanda (preciosa)
<i>Cupressus sempervirens</i>	ciprés italiano	blanda
<i>Fraxinus udhei</i>	fresno	blanda
<i>Juglans regia</i>	nogal europeo	extremadamente dura
<i>Manilkara zapota</i>	chicozapote	extremadamente dura
<i>Metopium brownei</i>	chechém negro	dura
<i>Pinus ayacahuite</i>	ayacahuite	blanda
<i>Pinus greggii</i>	pino prieto	blanda
<i>Pinus patula</i>	pino llorón	blanda
<i>Pinus teocote</i>	ocote	blanda
<i>Piscidia piscipula</i>	jabín	dura
<i>Platanus mexicana</i>	papalote	dura
<i>Populus tremuloides</i>	álamo	blanda
<i>Pseudobombax ellipticum</i>	amapola	blanda
<i>Quercus crassifolia</i>	encino	dura
<i>Quercus laurina</i>	encino	dura
<i>Quercus rubor</i>	roble europeo	dura
<i>Quercus rugosa</i>	encino	dura
<i>Swartzia cubensis</i>	katalox	extremadamente dura
<i>Swietenia macrophylla</i>	caoba	dura (preciosa)
<i>Tectona grandis</i>	teca	dura

Mier (2013) mencionó que la madera está constituida por las siguientes estructuras:

- ❖ **Médula:** es una zona pequeña de color oscuro se encuentra ubicada en la parte central del tronco. Los nutrimentos esenciales se transportan a través de la ella. Su localización justo en el centro, significa que es la capa que está más protegida de daños causados por hongos o insectos porque es muy dura.

- ❖ **Duramen:** es la parte de la madera que se encuentra en la zona central del tronco, representa la parte más antigua del árbol es la zona que rodea a la medula, suele ser de color oscuro y de mayor durabilidad. El duramen es la madera dura y consistente, está formada por células fisiológicamente inactivas y se encuentra en el centro del árbol.

- ❖ **Albura:** corresponde a la parte joven de la madera, es decir, está formada en los últimos ciclos de crecimiento del árbol; por ella viajan la mayoría de los compuestos de savia, con los años las capas internas de albura mueren y se convierten en duramen.

- ❖ **Cambium:** es la capa que sigue de la corteza de la cual se originan dos capas, la capa inferior o capa de xilema que forma la madera y la capa exterior o de floema que forma la parte de la corteza. Es la parte del árbol que crea nuevas células permitiendo al árbol crecer y ser más grueso cada año.

- ❖ **Corteza:** es la capa más externa del árbol y está formada por las células muertas, esta capa es la que protege al árbol de agresiones externas como pueden ser parásitos, frío, fuego (Figura 1).

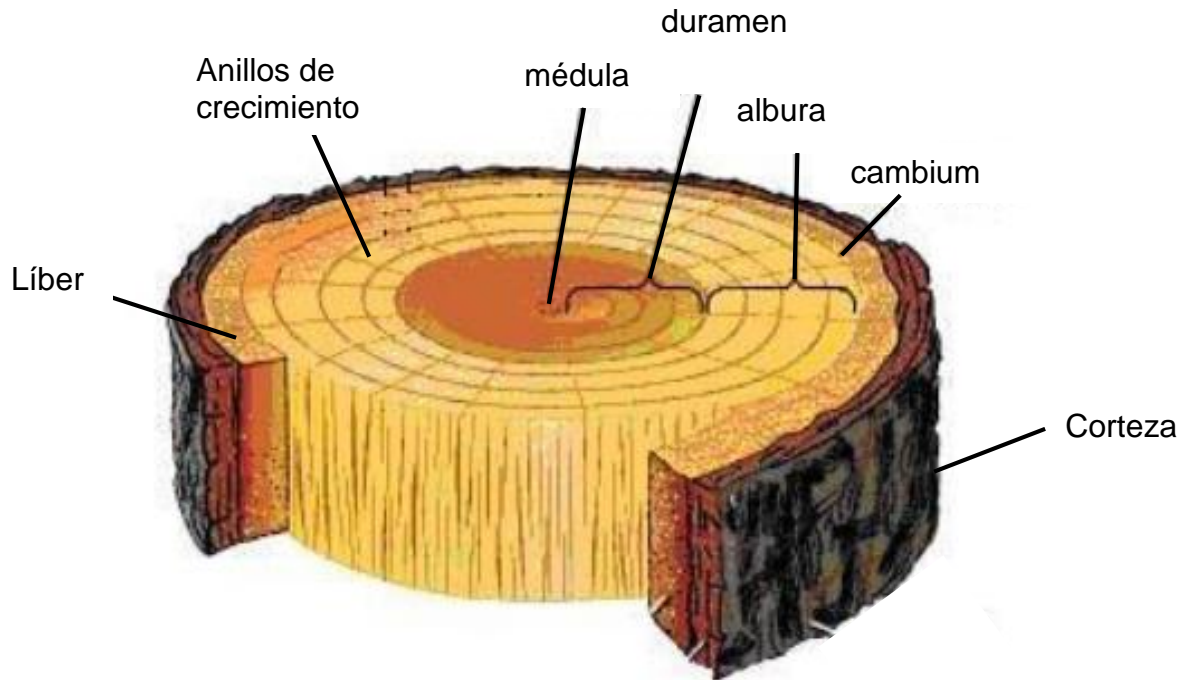


Figura 1. Morfología de la madera en corte transversal.

2.2. Durabilidad natural de la madera

Se refiere a la capacidad de resistencia que esta posee frente al ataque de agentes degradadores ya sea bióticos como pueden ser insectos, hongos y bacterias o abióticos es decir los diferentes fenómenos climáticos o meteorológicos como puede ser la humedad ambiental, lluvia, viento, radiación, solar o el fuego. La menor o mayor durabilidad de la madera, depende de la cantidad de resinas, aceites, taninos, etc. que cubran sus tejidos, la variedad de la durabilidad de la madera se puede presentar dentro de una especie y entre especies (Ramos, 2014).

La durabilidad natural de la madera también es definida como la resistencia natural contra la degradación biológica varía según la especie de madera, las regiones geográficas y las variaciones de exposición ambiental y las condiciones durante la vida de los árboles. No obstante, las principales propiedades fisicoquímicas de la madera son esencial para la resistencia a la descomposición de la madera. Por ejemplo, la densidad de la madera, que se usa ampliamente como un rasgo en el campo de la

ecología funcional se ha correlacionado con la durabilidad natural de la madera. También se sabe que los componentes de la madera, como los extractos, están involucrados en la resistencia de la madera contra la descomposición. Estas moléculas no están unidas covalentemente a paredes celulares y luego podrían extraerse usando varios solventes. Una parte de estos extractos de madera posee actividades antimicrobianas e insecticidas que explican su participación en la durabilidad de la madera.

Se conoce como durable a la madera que resiste al ataque de agentes biológicos destructores, bajo ciertas condiciones y a la madera no durable como toda la que ofrece poca o ninguna resistencia a la acción de agentes destructores, la cual afecta sus propiedades como: la estructura direccional de sus fibras, la resistencia mecánica; su gran flexibilidad, lo que permite que pueda ser doblada o curvada, la dureza, mayor o menor que dependerá del tipo de madera; y su buena capacidad como aislamiento térmico y acústico gracias a las diminutas burbujas de aire que alojan cuando está seca (García, 2008).

La durabilidad de las maderas puede ser estimada mediante métodos de laboratorio o pruebas aceleradas denominadas así por su corta duración para; lo cual, se seleccionan pequeñas muestras de distintos tamaños de diferentes partes del tronco, exponiéndose a cultivos puros de diferentes especies de hongos xilófagos como: *Neolentinus suffrutescens* (Brotero) May & Wood, *Leptoporus sulphureus* Bulliard Murril, *Phanerochaete chrysosporium* Burdsall, en condiciones constantes de temperatura y humedad por un tiempo determinado. Así como también, mediante el establecimiento de ensayos a campo o cementerios de madera, que consiste en poner muestras de maderas de pequeñas dimensiones en un área que esté limpia, cada muestra debe estar bien identificada para evitar confusiones, los ensayos en campo aportan datos más precisos respecto a la vida útil de las maderas utilizadas (Murace y Spavento, 2014).

2.3. Importancia de la durabilidad natural

La importancia de la durabilidad natural, reside en que ésta determina el tiempo durante el cual se mantienen vigentes las propiedades físico-mecánicas como peso específico, humedad, contracción, flexión, dureza; además de que ayuda a prevenir importantes pérdidas causadas por la susceptibilidad de la madera al ataque de los hongos xilófagos como: *Pycnoporus sanguineus* (L.) Murrill, *Ganoderma applanatum* (Per.) Pat., *Phanerochaete chrysosporium* Burds (Vásquez, 2006).

En determinadas maderas muy densas y de color oscuro, como: *J. regia*, *Q. robur*, *Swartzia cubensis* (Britton & Wilson) Standl. tienen una mayor resistencia al ataque de los hongos, lo cual se debe a la dificultad que tienen los tejidos leñosos a la circulación del agua y del oxígeno, vital para la vida y desarrollo de las colonias de hongos, generalmente son más durables, esto se debe a que al ser menos porosas no se dan las condiciones de presencia de agua y oxígeno lo que genera un ambiente no propicio para el desarrollo de agentes destructores biológicos, al contar además con sustancias de coloraciones oscuras reductoras de absorción de agua o tóxicas para los hongos.

Los encinos (*Quercus* spp.) están clasificados como especies de mejor durabilidad, sobre todo el grupo de los encinos blancos, al igual que la madera *T. grandis* que es una especie tropical de madera dura, estimada como de alta calidad ya que muestra una alta resistencia al deterioro causado hongos y por insectos debido a que posee aceites naturales que repelan los insectos y el moho (Cuadro 2) (Telles *et al.*, 2017).

Cuadro 2. Clasificación de diferentes especies forestales útiles por su madera.

Especie	Nombre científico	Clasificación	Dureza	Densidad (kg / m³)
Abeto	<i>Abies alba</i>	blanda	1-5	450
Aliso rojo	<i>Alnus rubra</i>	blanda	1-8	450
Caoba	<i>Swietenia macrophylla</i>	semiblanda	2-7	570
Cedro americano	<i>Cedrela odorata</i>	semiblanda	2	490
Cedro rojo del Pacífico	<i>Thuja plicata</i>	blanda	1-3	340
Cerezo americano	<i>Prunus serotina</i>	semidura	3-2	560
Haya europea	<i>Fagus sylvatica</i>	semidura	4	730
Barí	<i>Hymenaea courbaril</i>	muy dura	8-5	950
Nogal europeo	<i>Juglans regia</i>	semidura	3-8	650
Palo rojo	<i>Pterocarpus soyauxii</i>	dura	6-9	740
Pino de Oregón	<i>Pseudotsuga menziesii</i>	semiblanda	2-45	530
Pino marítimo	<i>Pinus pinaster</i>	semiblanda	2-45	530
Roble blanco americano	<i>Quercus alba</i>	dura	5-1	740
Roble europeo	<i>Quercus robur</i>	dura	5-8	770
Samba-Ayous	<i>Triplochiton scleroxylon</i>	blanda	1-2	380
Sucupira	<i>Diploptropis purpurea</i>	muy dura	8-3	910
Teca	<i>Tectona grandis</i>	semidura	4-1	690

2.4. Agentes destructores de la madera

La madera que es un material orgánico, está sujeta a la destrucción por diversos agentes, por lo que su vida útil está determinada por factores inherentes a su naturaleza. Dentro de los agentes que degradan la madera el mayor daño lo ocasionan los hongos xilófagos, estos degradan moléculas complejas como, las hemicelulosas, las pectinas, la lignina, la celulosa y el almidón. Los hongos pudridores más importantes pertenecen a la clase Basidiomicetes, estos son capaces de desintegrar las paredes de la célula, desintegrando la lignina por oxidación y la celulosa por hidrólisis (Polanco *et al.*, 2014).

En los ecosistemas forestales, la degradación de la madera está mediada principalmente por microbios especializados en particular por hongos que descomponen la madera. Estos hongos han evolucionado de manera eficiente descomponer y mineralizar los componentes de la madera. En los últimos años, los estudios genómicos comparativos, confirmando enfoques bioquímicos y microbiológicos previos, han demostrado la presencia de redes enzimáticas extracelulares e intracelulares especializadas en estos organismos, las redes extracelulares reúnen enzimas oxidativas e hidrolíticas, que catalizan de manera sinérgica eficiente descomposición de polímeros de madera.

2.4.1. Hongos

Son seres vivos de talla microscópica su cuerpo está formado por filamentos llamadas hifas, se dispersan por el aire por medio de esporas de color verde que se producen a millones (polinización anemófila), que germinan en cualquier lugar adecuado para su desarrollo, para su subsistencia necesitan oxígeno y una adecuada temperatura 20 a 25 °C y abundante agua (humedad ambiental del 50 al 60 %), y con estas condiciones pueden degradar la madera hasta su total destrucción, los hongos de descomposición de la madera generalmente poseen un conjunto más grande de genes que codifican glutatión S-transferasas (GST). Estas enzimas están involucradas en el segundo paso de las vías de desintoxicación y muy utilizado como indicadores de las respuestas al estrés en varios organismos (Perrot *et al.*, 2019).

Se conocen los siguientes tipos de pudrición:

Pudrición blanca o fibrosa (*Ganoderma applanatum*) son causadas por hongos que se alimentan de hemicelulosa y de lignina, la madera se vuelve fibrosa, toma un color blanco y se despedaza con facilidad (Figura 2). Los hongos de pudrición blanca poseen peroxidasas fúngicas de clase II, que están involucrados en la degradación de la lignina. Las redes intracelulares están involucradas principalmente en la importación y catabolismo de los productos de madera degradados y en la desintoxicación de

moléculas tóxicas inicialmente presentes o generadas durante la degradación de la madera.

Este tipo de hongos degrada la lignina a través de un proceso de oxidación, para este tipo de pudrición existe una relación lineal entre pérdida de peso y daño en la madera, las maderas tropicales, son más atacables que las de coníferas debido a la mayor cantidad de lignina.



Figura 2. Pudrición blanca en madera de pino.

Pudrición blanda (*Ustilina deusta* Hoffm. Lind). Esta causada principalmente por hongos ascomycetes, los cuales degradan los carbohidratos de la madera y producen un reblandecimiento superficial (Figura 3). Estos hongos atacan la celulosa de las paredes celulares y forman a menudo cavidades microscópicas en la pared celular secundaria. La pudrición blanda es un caso particular muy peligroso que se presenta en maderas sometidas a condiciones muy altas de humedad a menudo sin ventilación ni luz y en contacto con el piso forestal, con el agua o en ambientes saturados de humedad; la madera se reblandece desde la superficie hacia el interior, pero este efecto solo se aprecia cuando ya está muy desarrollado el ataque, que es irreversible (Mier, 2013).



Figura 3. Pudrición blanda en restos de una troza de madera, cuando esta se presenta, hay una pérdida significativa de resistencia.

Pudrición parda (*Laetiporus sulphureus* Bull. Murrill). Los hongos se alimentan principalmente de la celulosa de las paredes celulares, a las que descomponen mediante un proceso de hidrólisis. La madera adquiere color pardo oscuro debido a las sustancias remanentes, como los taninos y la lignina, que tienen una coloración más oscura (Figura 4). Están ocasionadas por especies agaricáceas como *Lentines* o poliporales, como *Coniophora*, *Daeadalea*, *Lenzites* y *Poria*, y suelen ser más frecuentes en las coníferas por su mayor proporción de celulosa, y más habituales si está en condiciones húmedas.



Figura 4. Pudrición parda común en pinos y abetos.

Pudrición café, Ortiz *et al.* (2011) señalaron que este tipo de pudrición suele ser el más destructivo y mayoritario, debido a que puede causar rápidamente fallas estructurales. Causa la pérdida de la forma original de las células, esto se debe a la disminución de la rigidez de la estructura de la pared celular provocada por la pérdida de cristalinidad de la celulosa (Figura 5). El daño está particularmente asociado a maderas de coníferas, como el de la especie *Pseudotsuga menziesii* (Mirb Franco) ya que se produce depolimerización principalmente celulosa y hemicelulosa dejando la lignina prácticamente intacta.



Figura 5. Pudrición café provoca un rápido deterioro en la resistencia de la madera infestada.

Pudrición azul (*Ceratocystis* spp. Ellis & Halst). Causada por hongos cromógenos que afectan a la madera dura y recién cortada, la cual producen una pigmentación azulada-negrizca (Figura 6). Estos hongos en la madera crecen muy rápido, de hasta 1 cm en el espesor en 24 h. El ataque se da en la etapa de la corta y el almacenamiento de las trozas, la madera queda débil debido a que se alimentan de la albura, disminuye la velocidad de secado y aumenta la susceptibilidad a la pudrición; bajo condiciones óptimas para el hongo de temperatura (24 y 35 °C) y humedad (> 30 %), las maderas oscuras al igual que las maderas menos densas tienden a ser menos susceptibles que las maderas de colores claros que suelen mancharse más fácilmente.

En algunos casos, los hongos causantes de la pudrición azul están asociados con insectos que son capaces de transportar las esporas a diferentes sitios, propagando la infección (Berrocal, 2007).



Figura 6. Pudrición azul en la madera de pino.

2.5. Factores que influyen en el desarrollo de los hongos en la madera

Los hongos necesitan de cuatro condiciones propicias y esenciales para su desarrollo en la madera, según Tapia (2010), son las siguientes:

Humedad. Generalmente los contenidos de humedad de la madera entre 35 a 50 % en maderas normales, son los más favorables para el crecimiento de los hongos pudridores. La humedad es indispensable para la germinación de las esporas, secreción de enzimas, transporte de sustancias nutritivas absorción y toda la actividad vital de los hongos de pudrición se puede considerar que la humedad mínima contenida en la madera para el crecimiento de la mayoría de los hongos pudridores en algún lugar de la región es de 22 a 24 %, y que la madera que contiene menos de un 20 % está a salvo del ataque de cualquiera de los hongos pudridores de madera comunes.

Oxígeno. La forma de respiración más frecuente de los hongos es la aeróbica (tiene lugar en presencia del oxígeno atmosférico), y en menor escala presentan respiración anaeróbica o respiración intermolecular, (verificada con el oxígeno combinada en el medio). La cantidad de aire requerida para el desarrollo de los hongos xilófagos es mínima, siendo suficiente con la que se encuentra en el duramen de los árboles en pie. Es necesario que haya un 20 % del volumen de la madera, es por esto que la madera saturada al no tener suficiente aire, no se pudre.

Temperatura. El desarrollo y crecimiento de los hongos de pudrición de la madera así como todos los demás hongos requieren una temperatura en particular para cada especie. Cada una tiene una temperatura óptima, las cuales a menudo varían incluso según su etapa de desarrollo, crecimiento del micelio, formación de los cuerpos fructíferos, germinación de las esporas. Los rangos de temperatura para los hongos pudridores de la madera están entre 0 a 44 °C y la temperatura más favorable para su desarrollo está entre 18 y 36 °C.

Nutrientes. Todos los componentes que contienen carbón en su estructura son importantes para la nutrición de los hongos, por lo que los requerimientos alimenticios de los hongos xilófagos son satisfechos por los carbohidratos y la lignina presentes en la madera. Se ha observado que la presencia de nitrógeno es necesaria para el crecimiento de los hongos. Ciertamente que los requerimientos no son muy grandes, pues los contenidos en la madera son solamente de 0.01 a 0.03 % de nitrógeno.

2.6. Propiedades mecánicas de la madera

Las propiedades mecánicas son todas aquellas reacciones y las resistencias que tiene la madera al ser sometida por fuerzas exteriores, estas miden la capacidad y la amplitud para resistir cargas externas, presentan diferentes propiedades en las distintas direcciones de estas características se desprenden los distintos grados de resistencia, estos valores son de mucha importancia en la utilización de la madera en la construcción, principalmente en el dimensionado de las diferentes piezas según su resistencia y deformación (Ramos y Aguilera, 2014). Entre ellas están las siguientes:

Spavento *et al.* (2008) propuso la clasificación para las propiedades mecánicas de la madera las cuales se presentan en los cuadros siguientes.

Flexión estática. Es la capacidad de la madera que tiene para soportar cargas que tienden a doblarla, cuando se utilizan en dirección perpendicular a las fibras. Una madera es sometida a la flexión estática cuando sobre ella ejercen cargas lentas que tienden a curvarla, las maderas en uso por lo regular están sometidas por fuerzas o cargas que tienden a flexionarlas (cuadro 3).

Módulo de ruptura (MOR). Proviene de experimentos de laboratorio, donde se aplican cargas crecientes en el centro de un espécimen de madera, sostenido en los extremos hasta que esta falla y se rompe. Una viga de madera que presenta un MOR = 100 kg./cm cuadrado será dos veces más fuerte en flexión que otra viga del mismo tamaño que tenga un MOR =50 kg./cm cuadrado.

Módulo de elasticidad (MOE) expresa la medida de rigidez de una madera, las que tienen MOE mas alto son las más apropiadas para la construcción. Es una medida de la rigidez de un material, esta propiedad permite tener una fuerza que puede modificar su forma o volumen y que es el asignado de su recuperación de su forma original cuando cierta fuerza deja de actuar.

Cuadro 3. Clasificación para la flexión estática.

Flexión estática (kg/cm ²)		
MOR	MOE	Clasificación
< 500	< 100000	muy bajo
500 – 950	101000 – 120000	bajo
951 – 1220	121000 – 150000	medio
1221 – 1750	151000 – 200000	alto
> 1750	> 200000	Muy alto

Compresión. Indica la capacidad de la madera que tiene para resistir fuerzas externas que tienden a acortar las fibras kg/cm² (cuadro 4). Esta resistencia se puede presentar en dos direcciones: en forma paralela a las fibras o perpendicular a ellas.

Cuadro 4. Clasificación según la compresión paralela a las fibras (kg/cm²).

Clasificación	Rango
muy bajo	< 200
Bajo	201 – 300
Medio	301 – 400
Alto	401 – 500
Muy alto	> 500

Dureza Janka. La dureza de la madera es la resistencia que esta tiene a la penetración de un cuerpo más duro, la madera dura ofrece mayor dificultad de trabajabilidad y regularmente son más pesadas (cuadro 5), estas son más adecuadas para pisos y todas aquellas piezas que necesitan detener clavos o tornillos (Gilson, 2010).

Cuadro 5. Clasificación de la madera según valores para la dureza Janka.

Clasificación	Rango
muy blandas	< 300 kg/cm ²
Blandas	301 a 500 kg/cm ²
Semiduras	501 a 700 kg/cm ²
Duras	701 a 1000 kg/cm ²
muy duras	> 1000 kg/cm ²

Cizallamiento. Se define como la carga que se necesita para producir una fractura en la interface de unión entre dos materiales cuando se usan fuerzas paralelas de sentido contrario (cuadro 6). El cizalle longitudinal o paralelo radica en el desplazamiento de una parte de madera con respecto a otra por medio de una carga aplicada paralela a las fibras (Canales, 2014).

Cuadro 6. Clasificación para corte paralelo a las fibras (kg/cm²).

Clasificación	Rango
Muy bajo	< 40
Bajo	40 – 85
Medio	86 – 120
Alto	121 – 175
Muy alto	> 175

El CH está relacionado con las propiedades mecánicas de la madera como, flexión estática, compresión paralela, compresión perpendicular, tracción, cizalle, dureza, cuando la resistencia mecánica se mantiene constante el contenido de humedad disminuye. Al igual que el CH las propiedades mecánicas están directamente relacionadas con la densidad (a mayor densidad, mayor resistencia). Generalmente las maderas densas son más durables que las maderas livianas. Se debe tener en cuenta lo siguiente: la madera con un CH mayor del 30 % se considera verde y el término "seca", se refiere a la madera que ha alcanzado un contenido de humedad en condiciones de secado natural. Su valor sería el contenido de humedad que alcanzaría en equilibrio con las condiciones climáticas del lugar. En algunos casos se usa el 12 % de CH como el valor para esta condición, el cual es utilizado internacionalmente para fines de comparación (Díaz, 2005).

2.7. Descripción de las maderas de estudio

2.7.1. *Alnus acuminata*

La madera del *A. acuminata* tiene una clasificación baja para su densidad y cambios dimensionales totales tanto como para su resistencia mecánica. La albura es de color castaño-rosado y esta no se puede diferenciar del duramen. El vetado muestra arcos cubiertos con líneas más oscuras que el sobrante de la madera, producida por bandas más densas y oscuras (Figura 7). Su CH es de 113.8 %, con una densidad básica de 0.374 g/cm³, mientras que para la contracción volumétrica es de 10.66 % (López, 2006).

La madera de los árboles adultos es muy manejable, se sabe que es usada en la fabricación de cajas para transporte de hortalizas, hormas para zapatos, palillos de fósforos, en carpintería, ebanistería y muebles, al igual que es utilizada para la fabricación de carbón, para leña, aserrío y la pulpa es usada para papel; además la corteza es astringente y rica en taninos por lo que en México se usa como curtiente (Mediavilla, 2016).



Figura 7. Madera y árbol de *A. acuminata*.

2.7.2 *Platanus mexicana*

La madera es principalmente albura, con vetas más oscuras de duramen, la albura es de color blanco a beige claro, mientras que el duramen es de un marrón rojizo más oscuro.; con una densidad relativa de 0.53724 g/cm^3 y gravedad específica de 0.5678.

La madera se usa en general para la carpintería, molduras, puertas, fabricación de telares, muebles y gabinetes, artículos deportivos y torneados, barriles, bastidores, también se utiliza para chapa y acabados de muebles (Williams, 1996) (Figura 8).



Figura 8. Madera y árbol de *P. mexicana*.

2.7.3. *Pinus patula*

Su madera es blanda, liviana, quebradiza, albura de color blanquecino a amarillento claro, el duramen rojizo claro, algunas veces con veteado marrón pálido. Tiene anillos de crecimiento bien definidos, de color marrón, abundantes nudos y es poco resinosa (Figura 9). Los árboles maduros presentan menor cantidad de nudos y sus anillos son más angostos, con una mayor parte de duramen, por lo que la calidad de la madera mejora radicalmente (Vallejo y Zapata, 2018).

La durabilidad natural de *P. patula* es baja; debido a la susceptibilidad que presenta al ataque hongos que descomponen la madera así como de insectos. Tiene una densidad anhidra mediana de 0.48 g/cm³ y una densidad básica de 0.43 g/cm³ cuando se seca al aire suele presentar ligeras torceduras, ofrece los mayores contenidos de celulosa y hemicelulosa con un contenido bajo de lignina (Ospina *et al.*, 2011).

Es muy empleada en la construcción de viviendas, material para techos y tejados, duelas, piezas para muebles, también es muy utilizada para la producción de papel periódico por su bajo contenido de resina (Gómez *et al.*, 2012).



Figura 9. Madera y árbol de *P. patula*.

2.7.4. *Quercus rugosa*

La madera tiene distintos colores entre albura y duramen, la albura es de color castaño muy pálido y el duramen es de color castaño amarillento, los radios multiseriados en la albura son de color gris claro. Los anillos de crecimiento no están muy marcados (Figura 10). La madera presenta porosidad difusa. Es una madera muy dura, rígida y con alta resistencia a la pudrición (Pérez *et al.*, 2006).

La madera es higroscópica ya que cuenta con la capacidad de absorber y desprender humedad esto dependerá del ambiente en que se encuentre. Es muy recomendable para pisos, escaleras, y otros usos como leña y carbón, también es utilizada en la elaboración de pulpa para papel así como para fabricar pilotes, durmientes y postes para cercas. Presenta grandes contracciones en su secado, con alta probabilidad a rajarse de ahí que su secado debe hacerse lentamente para evitar las rajaduras (Pérez y Dávalos, 2008).



Figura 10. Madera y árbol de *Q. rugosa*.

2.8. Normas oficiales para la clasificación y tratamiento de maderas:

Norma Europea UNE-EN

Esta norma se aplica para la madera y a los productos derivados de ella. Las normas que a continuación se indican son indispensables para su uso.

EN 212:2003. Productos protectores de la madera. Guía general para el muestreo y la preparación de los productos protectores de la madera y de la madera tratada para su análisis.

EN 252:2015. Ensayo de campo para determinar la eficacia relativa de un protector de la madera en contacto con el suelo.

EN 250-1:1995. Durabilidad de la madera y de los materiales derivados de la madera, principios de ensayo y clasificación de la durabilidad de la madera.

EN 599-1:2010. Durabilidad de la madera y de los productos derivados de la madera. Eficacia de los protectores de la madera determinada mediante ensayos biológicos específicamente para las distintas clases de uso.

Considerando las anteriores normas, se propone una clasificación de la durabilidad natural de la madera respecto a la acción de los hongos xilófagos UNE EN 350-1 (1995). (Cuadro 7).

Cuadro 7 .Clasificación de durabilidad según la Norma Europea UNE-EN.

Clase de durabilidad	Descripción
1	Muy durable
2	Durable
3	Medianamente durable
4	Poco durable
5	No durable

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Área de estudio

El estudio se realizó en el predio denominado "La Joya" en la comunidad de Oroctipan Tetela de Ocampo, Puebla, México. Su posición geográfica es 19° 46' 15" LN y 97° 50' 47" LO y 2516 msnm. El clima es templado húmedo con clasificación Cww con temperatura media anual entre 12 y 14 °C con precipitación de 1600 mm anual (anexo1) y (Figura 11) (García, 2004). Para el estudio de durabilidad se seleccionó un área plana 2 x 2 m con buen drenaje, con 30 % de pendiente, sin influencia de personas o animales para que no rompan o deterioren el material en observación. El tipo de vegetación predominante en el lugar donde se llevó a cabo el experimento es bosque de pino-encino, con sombreado del 50 % y 75 % de humedad relativa.

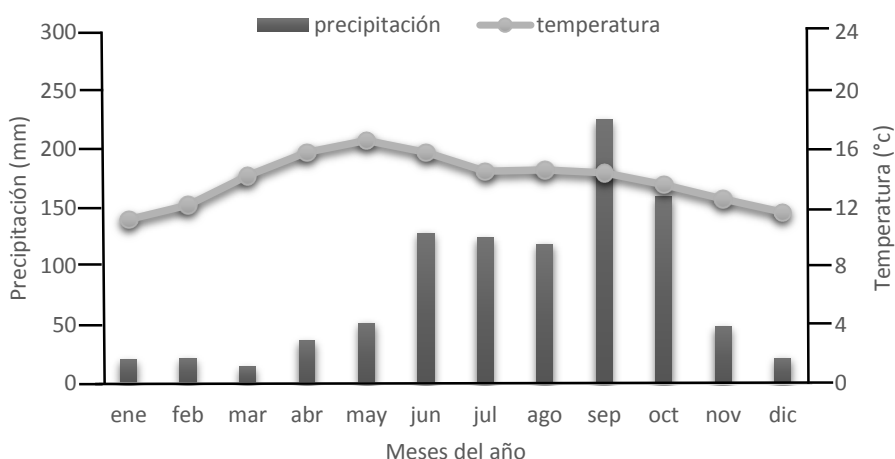


Figura 11. Condiciones climáticas del sitio experimental.

3.2. Especies utilizadas

Se utilizó madera de las especies: *A. acuminata*, *P. mexicana*, *P. patula* y *Q. rugosa*, se seleccionaron cuatro árboles vigorosos que fueron extraídos de la zona de estudio, con fuste limpio, sanos, con una edad aproximada de 30 años, con una altura de 14 m y con diámetros de 40 cm, los cuales fueron derribados a 20 cm de altura sobre el suelo, de cada árbol se obtuvieron las 30 muestras requeridas para el experimento.

3.3. Muestras

Las muestras de los árboles fueron extraídos en invierno (enero 2020) se obtuvieron 30 muestras de madera por especie forestal de las siguientes medidas (10 x 10 x 2.5 cm) se dividieron en 12 tratamientos con 10 repeticiones (Cuadro 8). El experimento duró nueve meses para obtener los resultados.

Cuadro 8. Diseño de tratamientos (factores, niveles y la combinación de ellos).

Especie	Preservación	Tratamiento
<i>A. acuminata</i> (Aa)	Durabilidad en seco (DS)	T ₁ : AaDS
	Durabilidad en húmedo (DH)	T ₂ : AaDH
	Durabilidad con barniz (DB)	T ₃ : AaDB
<i>P. mexicana</i> (Pm)	Durabilidad en seco (DS)	T ₄ : PmDS
	Durabilidad en húmedo (DH)	T ₅ : PmDH
	Durabilidad con barniz (DB)	T ₆ : PmDB
<i>P. patula</i> (Pp)	Durabilidad en seco (DS)	T ₇ : PpDS
	Durabilidad en húmedo (DH)	T ₈ : PpDH
	Durabilidad con barniz (DB)	T ₉ : PpDB
<i>Q. rugosa</i> (Qr)	Durabilidad en seco (DS)	T ₁₀ : QrDS
	Durabilidad en húmedo (DH)	T ₁₁ : QrDH
	Durabilidad con barniz (DB)	T ₁₂ : QrDB

3.4. Método de preservación

Durabilidad en seco (DS). Para evaluar la DS se cortaron 10 muestras por especies, las cuales fueron llevadas al laboratorio de la BUAP-CNR donde se realizó el secado de la madera en una estufa de la marca RIOSSA[®] a una temperatura de 55 °C, durante 24 h después de secarlas se llevaron a campo y se colocaron a nivel de piso forestal y se tomaron observaciones cada mes.

Durabilidad en húmedo (DH). Para evaluar la DH se obtuvieron 10 muestras por especie las cuales fueron llevadas a campo (área de observación) recién cortadas. Se dejaron en el área asignada y las revisiones y toma de datos se hicieron cada mes durante los nueve meses del experimento.

Durabilidad con barniz (DB). Se realizó la aplicación de barniz (AD-0051 antiparásitos) de la marca SAYER[®], este producto es un preservador de madera protegiéndola contra la acción de insectos, evita la formación de hongos causados por la humedad y la exposición a la intemperie. La madera se sumergió en el producto después se tallo con una brocha para asegurarse que todas la superficies quedaran totalmente cubiertas y asegurar su protección. Teniendo un total de 120 muestras de madera.

3.5. Diseño experimental

Para el trabajo de investigación se utilizó un diseño completamente al azar, con 12 tratamientos y 10 repeticiones por tratamiento, según la ecuación:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + E_{ij}$$

Donde:

Y_{ij} = es la observación de la j-ésima UE del i-ésimo tratamiento.

μ = media general común a todas las unidades experimentales.

T_i = efecto del i-ésimo tratamiento.

E_{ij} = error experimental en la observación j-ésima del tratamiento i-ésimo.

3.6. Variables de respuestas

Contenido de humedad (CH, %). Las muestras fueron pesadas en una báscula de la marca OHAUS[®] (peso húmedo) y posteriormente sometidas a un proceso de secado en una estufa de la marca RIOSSA[®] a una temperatura de 55 °C, durante 24 h; una vez estando secas, se determinó su peso seco. Con estos datos se calculó el CH utilizando la siguiente fórmula (Serna-Mosquera *et al.*, 2020):

$$CH = \frac{ph}{ps} * 100$$

Donde:

CH = contenido de humedad.

ph = Peso húmedo.

ps = Peso seco.

Pérdida de masa (PM, %). El método consistió en determinar la reducción de masa de las muestras, mediante la diferencia de la masa de madera en condición seca al inicio del experimento y la masa obtenida al final del experimento. La pérdida de masa se calculó con la fórmula de Cárdenas y Polanco (2004):

$$PM = \left(\frac{pi - pf}{pi} \right) * 100$$

Donde:

PM = Pérdida de masa.

pi = Peso seco al inicio del experimento (g).

pf = Peso seco al final del experimento (g).

Determinación de la durabilidad natural (DN) y dureza (D). Después de obtener los resultados promedio de los datos de PM, se clasificó la durabilidad natural de la madera, considerando la Norma UNE-EN (Cervantes *et al.*, 2015).

Área deteriorada por hongos (ADH). Para calcular el área de daño causado por hongos se utilizó un acetato el cual se trazó en centímetros para posteriormente ponerlo sobre la muestra (10 por especie) y marcar el área dañada y así cuantificar el porcentaje dañado.

Clasificación de la durabilidad de la madera. Se realizó de acuerdo con el índice “x”, según la Norma Europea EN 350-1. El índice “x” se determinó al dividir la pérdida de masa promedio de las especies de estudio, entre la pérdida de masa promedio de la especie con (barniz) con la siguiente fórmula (De la Cruz-Carrera *et al.*, 2018).

$$x = \frac{\bar{y}_{sp}}{\bar{X}_f}$$

Donde:

x = Índice “x”

\bar{y}_{sp} = Promedio de pérdida de masa de la especie en estudio (g).

\bar{X}_f = Promedio de pérdida de masa de la especie de con barniz (g).

Propiedades mecánicas. Para los ensayos mecánicos, las muestras que se utilizaron debieron hasta alcanzar la humedad de equilibrio. Para cada condición de humedad, las repeticiones y dimensiones (ancho x espesor x largo) de las muestras por cada especie, fueron 10 (de 2 x 2 x 30 cm); 10 (de 2 x 2 x 3 cm); 10 (de 5 x 5 x 6,4 cm) y 10 (de 6 x 6 x 15 cm) para ensayos de flexión estática [módulo de ruptura (MOR) y módulo de elasticidad (MOE)], resistencia a la compresión paralela a las fibras, cizallamiento y dureza Janka, respectivamente (ABNT, 1985). Luego de realizadas las pruebas mecánicas, se tomaron algunas muestras de cada prueba para determinar su contenido de humedad, con el objetivo de ajustar los resultados al estándar del 12 %. Las muestras se procesaron en el Laboratorio de Anatomía y Tecnología de la Madera de la Universidad Autónoma de Chapingo.

3.7. Análisis estadístico

Los datos obtenidos en las diferentes variables de respuesta se sometieron a análisis de varianza unidireccionales, para un diseño completamente al azar; las pruebas de comparación medias se realizaron por el método Tukey ($\alpha \leq 0.05$) usando el software Rstudio.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Contenido de humedad (CH)

El CH es la cantidad de agua que tiene la madera con respecto a su masa, su determinación fue importante ya que está influye en otras propiedades como el volumen y la masa. Debido a los cambios de temperatura y humedad relativa, que prevalecen en la comunidad de Oroctipan, Tétela de Ocampo, Puebla, las muestras de madera manifestaron cambios en su CH.

En la Figura 12, se observa que *P. patula* tuvo un CH más alto (181.93 %), cercano al cuartil 3. Esta especie mostró la menor distribución y menor variabilidad con respecto a las otras tres especies. Por otro lado, *P. mexicana* obtuvo el menor CH con una media de 132.37 %, contrario a lo anterior, esta media se encontró muy cerca del cuartil 1, mostrando una mayor distribución y variabilidad que *P. patula*. El valor más alto para el CH con respecto del valor más bajo, tuvo una diferencia del 72.75 %.

En el caso de *Q. rugosa*, se registró una media 146.44 % ubicada entre los cuartiles 1 y 3, con una distribución similar a *P. patula* y con mayor variabilidad. Para *A. acuminata* la media fue de 140.73 % y se ubicó en el cuartil 1, con una distribución mayor a las demás especies al igual que su variabilidad; mostrando mayor variación en la parte superior que la inferior, con un punto atípico.

Según reportado por López (2006), el CH para *A. acuminata* es de 113.8 %, mientras que en el experimento se obtuvo un valor más alto (140.73 %). Por otro lado, Serna-Mosquera *et al.* (2020) reportó un CH promedio de 119.32 %, en muestras de madera de *Ochroma pyramidale* establecidas a libre exposición; la cual presenta propiedades físicas y mecánicas similares a *A. acuminata*. Respecto a ello, De la Mata (2011), mencionó que en regiones con altos niveles de humedad relativa y precipitación (como en Tetela de Ocampo), es común que el agua presente en la madera se encuentre por encima del punto de saturación de la fibra, haciendo que la variación en el CH sea mayor mientras más se expone a la intemperie.

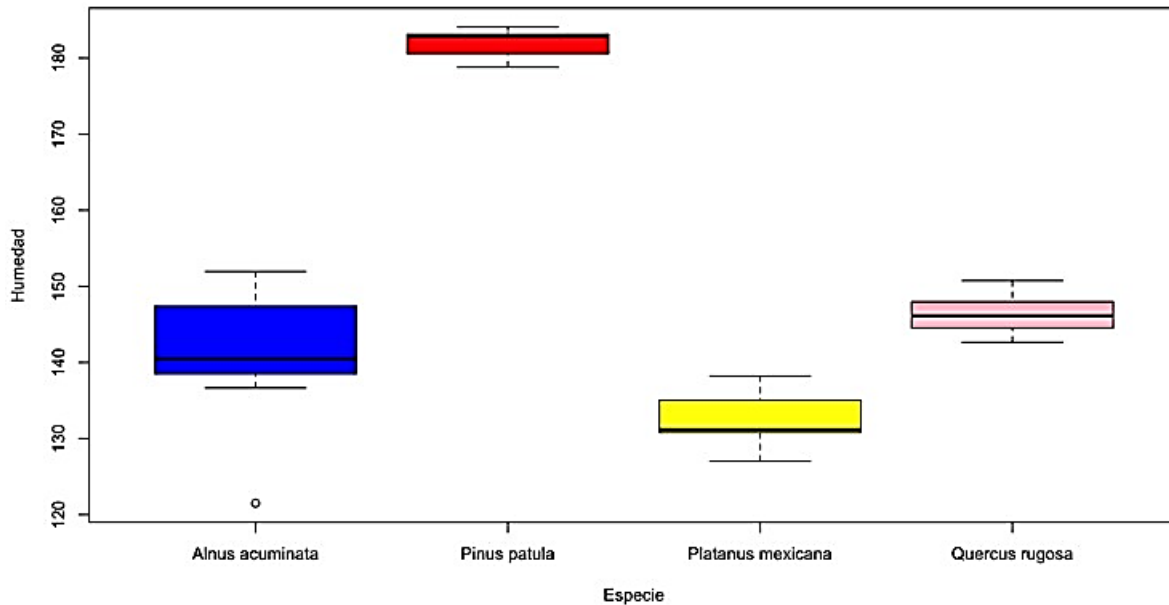


Figura 12. Contenido de humedad (%) en la madera de cuatro especies forestales en Tetela de Ocampo, Puebla.

4.2. Pérdida de masa (PM)

Es importante medir la PM, ya que se trata de un parámetro que indica la severidad de daños en la madera y su impacto tanto en su estructura anatómica, como en su composición química. En el presente estudio, la PM de la madera varió en las especies *Q. rugosa*, *A. acuminata*, *P. mexicana*, *P. patula*.

Los resultados indican que *P. Mexicana* tuvo una PM de hasta 15.06 % mostrando la mayor distribución comparado con las demás especies; teniendo poca variabilidad a nivel de piso forestal en los bosques de pino-encino de Tetela de Ocampo, Puebla. La especie con la menor PM fue *Q. rugosa*, con una media de 8.89 %; esta especie mostró la menor distribución, con variabilidad en límite superior mientras que para el límite inferior se observaron dos valores atípicos. El valor más alto en la PM con respecto al valor más bajo denotó una diferencia del 59.03 %.

En el caso de *P. patula* el valor de la media ubicado en el cuartil 2 fue de 14.62 %, con cercanía al cuartil 3 y con una distribución de datos simétrica en los cuartiles 1 y 3; así como variabilidad fuera de los cuartiles, más pronunciada hacia el límite superior y con

un valor atípico en esa misma dirección. Por último, *A. acuminata* con una media de 12.98 % ligeramente más cercana al cuartil 3 y con una distribución similar a la de *P. patula*; con variación menor a la de esta especie (Figura 13).

Al respecto, Nájera-Luna *et al.* (2010) evaluaron la PM en la madera de cuatro especies forestales de la región de El Salto, Durango, y obtuvieron valores para *Pinus strobiformis* de 7.26 %, *Pinus durangensis* de 4.44 %, *Quercus sideroxylla* de 5.47 % y para *Quercus laeta* de 5.95 %. Estos resultados fueron menores a los obtenidos en el presente experimento, para la comparación de las especies *Q. rugosa* y *P. patula*.

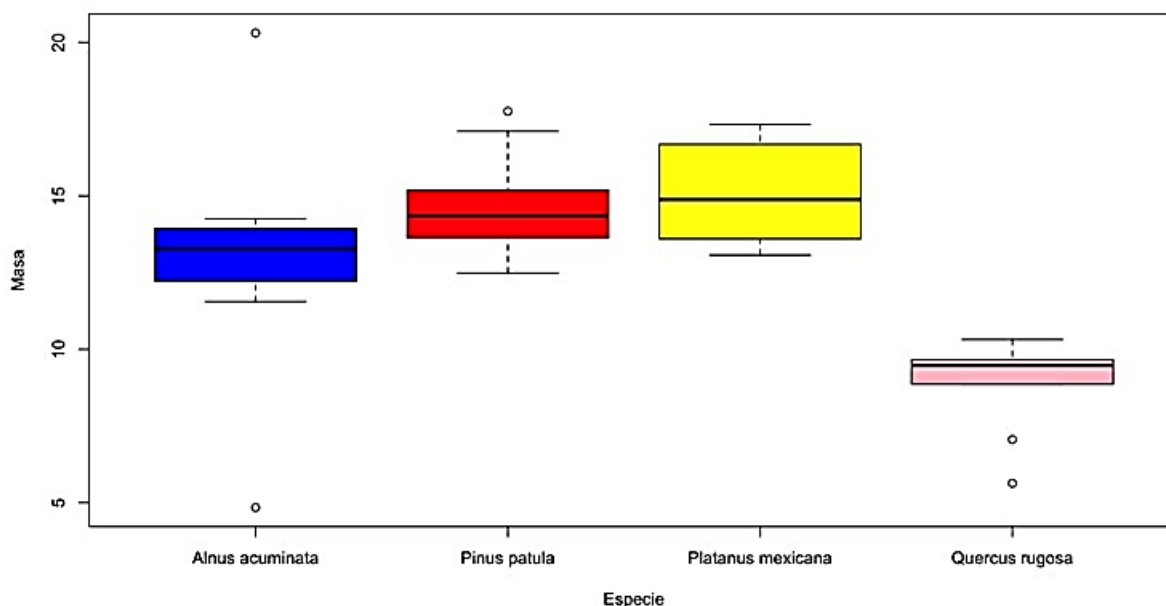


Figura 13. Pérdida de masa (%) en la madera de cuatro especies forestales en Tetela de Ocampo, Puebla.

4.3. Determinación de la durabilidad natural

En la presente investigación, la determinación de la durabilidad de la madera fue importante, debido a que el tiempo en el que la madera puede degradarse es diferente entre especies; esta durabilidad se relaciona con el grado de resistencia de la madera principalmente al ataque de hongos, especialmente a nivel de piso forestal.

En el Cuadro 9, se registró la información correspondiente a la durabilidad de las maderas, en función de los índices que dicta la Norma UNE-EN. Se aprecia que la madera *P. mexicana* y *Q. rugosa* fueron de clase 1, lo que significa que son maderas muy durables, mientras que *A. acuminata* es de Clase 4, es decir poco durable y *P. patula* de clase 3, es moderadamente durable. Estos resultados coinciden con los reportes descritos en la clasificación de maderas de la UNE EN 350-1, 1995.

Cuadro 9. Durabilidad natural de la madera de cuatro especies forestales.

Especie	Nombre común	Tipo de madera	Durabilidad	Clase de durabilidad	Densidad (kg / m³)
<i>Alnus</i>	aile	blanda	poco durable	4	450
<i>acuminata</i>					
<i>Pinus</i>	pino llorón	blanda	moderadamente durable	3	530
<i>patula</i>					
<i>Platanus</i>	papalote	dura	muy durable	1	640
<i>mexicana</i>					
<i>Quercus</i>	encino	dura	muy durable	1	750
<i>rugosa</i>					

El tiempo en el que una madera se degrada fue diferente entre especies, esto se define como durabilidad y estuvo relacionado con el grado de resistencia al ataque por hongos e insectos, principalmente. Algunas especies tienen mayor durabilidad que otras, además, existe una diferencia de durabilidad que depende de otros factores en la madera como azúcares y almidones, así como del arreglo anatómico de las células que forman una barrera física la cual reduce la adsorción y circulación del agua y a su vez impide el desarrollo de las hifas (Colín, 2015).

4.4. Área deteriorada por hongos

Un elemento importante en la durabilidad de la madera, lo determina el grado de deterioro, en las especies estudiadas: *A. acuminata*, *P. patula*, *P. mexicana* y *Q. rugosa*, para poder evitar pérdidas económicas durante el proceso de transformación y almacenamiento de la madera, mientras llega al consumidor final. Esto se debe a la

presencia de hongos que degradan la madera, tanto en condiciones de campo como en las áreas donde se guarda la madera.

En la Figura 14A, se muestran los resultados para el área deteriorada por hongos xilófagos en madera preservada, en el cual se observa que la madera de *A. acuminata* tuvo el mayor deterioro con 40.96 cm^2 con la media cercana ligeramente al cuartil 1, con poca distribución y una mínima variabilidad en los datos. *Q. rugosa* mostró el menor deterioro con una media de 23.34 cm^2 cercana al cuartil 3 y menor distribución con respecto a las demás especies; con poca variabilidad en el límite inferior y con un valor atípico en el límite superior. Existe diferencia del dato mayor con respecto al menor de 56.98% . *P. patula* obtuvo una media de 39.99 cm^2 , ligeramente cercana al cuartil 1 con una distribución similar a *A. acuminata* y con mayor variabilidad de datos con respecto de las demás especies. La madera de *P. mexicana* registró una media de 25.03 cm^2 , ubicada hacia el cuartil 1 con mayor distribución y con variabilidad mayor en límite superior.

La madera en húmedo de *A. acuminata*, fue la que tuvo el mayor deterioro, con una media 47.51 cm^2 ubicada en el cuartil 1 y con una distribución y variabilidad mayor respecto a las demás especies. *Q. rugosa* registró una media de 27.98 cm^2 ubicada justo a la mitad entre los cuartiles 1 y 3, mostrando la menor distribución y una mínima variabilidad de datos. El valor más alto para el área deteriorada con respecto al valor más bajo mostró una diferencia del 58.89% .

En la madera de *P. patula* se registró una media de 43.85 cm^2 justo a la mitad de los cuartiles 1 y 3, con una misma distribución para los cuartiles 1 y 3, con variabilidad mayor en el límite superior que en el inferior. Finalmente, *P. mexicana* mostró una media de 29.75 cm^2 ligeramente cerca al cuartil 3 y con una distribución similar a la de *P. patula*, con una variación de datos mayor en el límite inferior (Figura 14B). En la Figura 14C, se observa que el método de preservación con barniz aplicado a la madera, tuvo un efecto favorable; debido que hubo una menor incidencia de hongos en las maderas, hasta los nueve meses de observación (Figura 15).

De la misma forma, se observó una menor incidencia de hongos en la madera preservada en seco, lo cual es acorde a lo dicho por Ugalde-Vidal (2003), quien concluyó que tratar la madera con altas temperaturas mejora su durabilidad y su resistencia al ataque de hongos e insectos; ya que la aplicación de calor hace que la hemicelulosa libere ácidos carboxílicos (ácido fórmico y acético). El ácido acético reduce el grado de polimerización de los carbohidratos presentes en la madera, haciéndola menos propensa al desarrollo de hongos.

La madera a la que se le aplicó barniz, no mostró incidencia de hongos; por lo cual se acepta la hipótesis planteada al inicio del experimento. Lo anterior es coincidente con lo reportado por Quiñones (2015), quien mencionó que la resistencia a la biodegradación por hongos en la madera, se debe a sus cambios químicos, que reducen la higroscopicidad, impidiendo la difusión del complejo de enzimas que utilizan los hongos para desdoblar los polímeros.

La madera de *Q. rugosa* mostró una menor incidencia de hongos en los diferentes métodos de preservación durante el experimento; lo cual es acorde a lo reportado por Honorato (2001) afirmando que el deterioro observado en *Quercus affinis* puede atribuirse a la cantidad de taninos presentes en la madera, ya que estos compuestos reducen la degradación debido a su interacción molecular crítica con las enzimas.

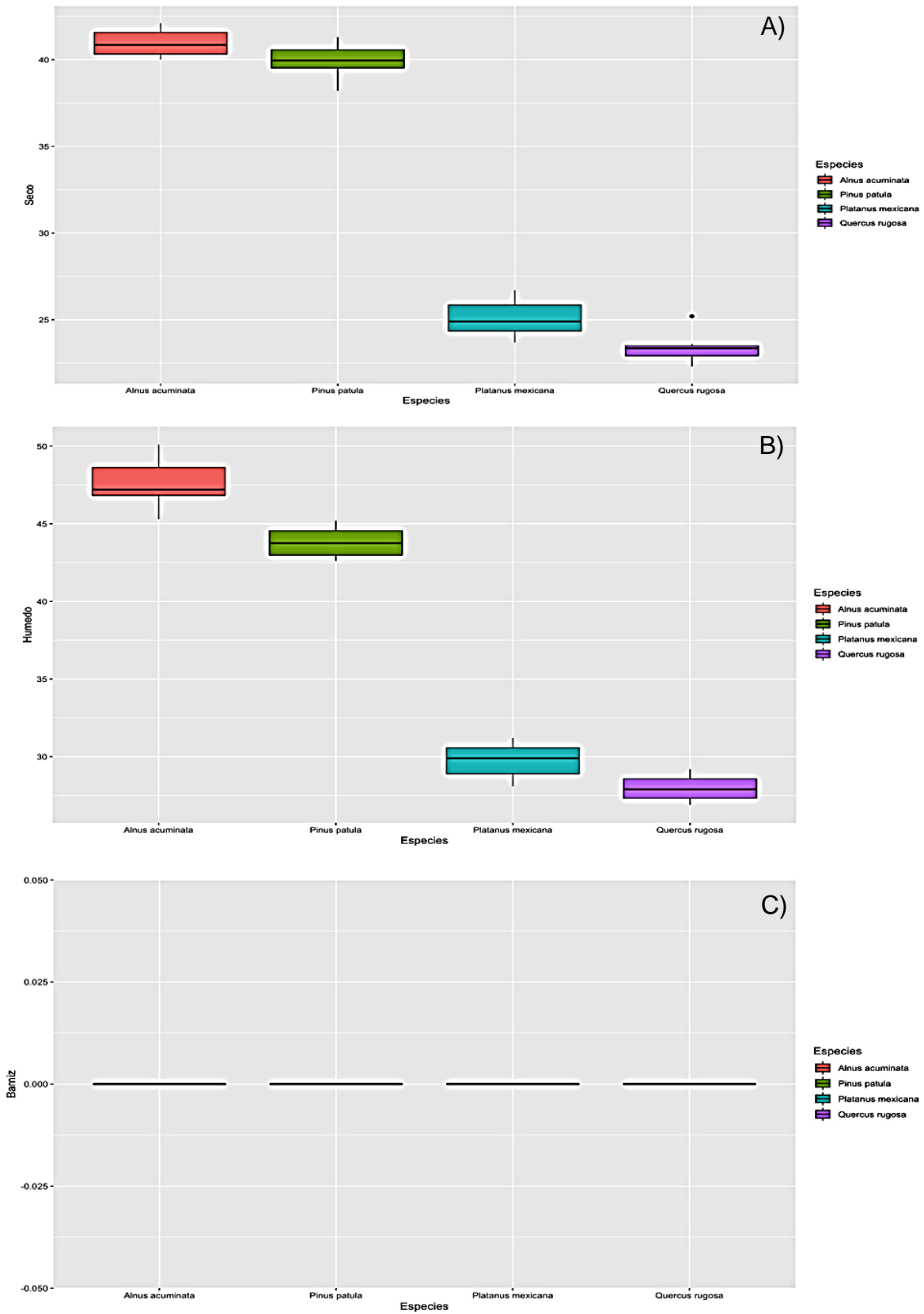


Figura 14. Área deteriorada (cm^2) por hongos xilófagos en madera preservada, A) en seco, B) en húmedo, C) con barniz; en Tetela de Ocampo, Puebla.



Figura 15. Muestras de madera de las especies evaluadas con incidencia de hongos.

4.5. Propiedades mecánicas

Es importante conocer las propiedades mecánicas de la madera ya que estos datos permiten determinar el comportamiento y la capacidad que la madera posee para resistir a las fuerzas externas (flexión, compresión, cizallamiento y la dureza).

En el caso de *A. acuminata*, se pudo observar que los valores obtenidos para flexión estática en seco se encontraron en un nivel medio de MOR con un valor de 970 kg/cm² mientras que MOE 70005 kg/cm²; esto significa que es de nivel de resistencia muy bajo, para compresión paralela a las fibras para el MOR obtuvo un valor de 277 con nivel bajo. El cizallamiento en corte radial se encontró un valor de 91.38 kg/cm² y para corte tangencial 105.53 kg/cm² estos datos indican un nivel medio, esta especie muestra una dureza Janka para el estado en seco de 258 kg/cm² en un corte radial, 286 kg/cm² tangencial y 340 kg/cm² transversal estos datos indican que es una madera muy blanda (Cuadro 10).

Para *P. patula*, los módulos de rotura y elasticidad a la flexión estática para el estado en seco se encontró un MOR 990 kg/cm² lo que indica que tiene una clasificación con resistencia media y para el MOE 80853 kg/cm² lo cual es muy bajo. La compresión para MOR 310 kg/cm² indica que es de clasificación medio. EL cizallamiento paralelo a las fibras en corte radial se registró en 113.06 kg/cm² indicando un nivel medio y para corte tangencial (126.87 kg/cm²) un nivel alto. Respecto a los resultados obtenidos

para la dureza Janka se encuentran en un rango de 301-500 lo que indica que es una madera con clasificación blanda.

En el caso de *P. mexicana*, las cifras de resistencia a la flexión estática en estado seco con humedad constante al 12 % para MOR se registró un valor de 1390 kg/cm² lo que corresponde a un nivel alto y para MOE 114560 kg/cm² dentro de un intervalo de clasificación medio. La compresión para MOR 600 kg/cm² esto indica que es un valor muy alto, en cuanto al corte paralelo a las fibras se encontraron los siguientes valores radial 205.87 y tangencial 225.87 kg/cm². La dureza Janka indica que es una especie de madera dura ya que sus valores se observaron en un rango de 501 a 700 kg/cm².

Finalmente, en el caso de *Q. rugosa* las propiedades mecánicas obtenidas en su madera indican que para flexión estática: MOR se registró un valor de 1501 kg/cm² lo cual sugiere que es alto y para el MOE 122580 kg/cm² se encuentra clasificado como medio, mientras que la compresión MOR obtuvo 744 kg/cm² indica que es muy alto, para el corte paralelo a las fibras radial y tangencial 319 y 349.16 kg/cm² respectivamente los cuales son muy altos. Para la dureza Janka en corte radial tuvo un valor 956 que se clasifica como madera dura, para el corte tangencial y transversal se obtuvieron datos >1000 lo que sugiere que se trata de una madera muy dura.

De acuerdo a los resultados obtenidos y comparados con los criterios de clasificación, para las propiedades mecánicas de la madera, propuestas por Spavento *et al.* (2008) se determinó que las especies de *Q. rugosa* y *P. mexicana* son maderas duras mientras que *A. acuminata* se encuentra en la clasificación de madera muy blanda y para *P. patula* que es una madera blanda.

Lo anterior coincide con el estudio realizado por De la Paz *et al.* (2015) quienes al estudiar las características tecnológicas de la madera de dos especies de *Quercus*, concluyeron que en condición seca son duras, muy rígidas en flexión, resistentes en compresión perpendicular, muy resistentes al corte en paralelo y moderadamente resistentes a la compresión paralela.

Cuadro 10. Propiedades mecánicas de las maderas de cuatro especies forestales, de acuerdo con su contenido de humedad.

Especie / Variables		Humedad			
		en verde ⁺	CV (%)	en seco [‡]	CV (%)
<i>Alnus acuminata</i>					
Flexión estática [§]	MOR	400	19.56	970	20.12
	MOE	40914	14.96	70005	15.33
Compresión [¥]	MOR	116	17.31	277	13.60
	MOE	29400	15.87	70000	21.76
Cizallamiento [¶]	Radial	40.68	14.15	91.38	19.45
	Tangencial	57.87	22.06	105.53	15.99
Dureza Janka [†]	Radial	116	6.92	258	5.98
	Tangencial	128	5.19	286	8.05
	Transversal	150	6.88	340	7.50
<i>Pinus patula</i>					
Flexión estática	MOR	450	19.17	990	20.68
	MOE	50903	12.74	80853	16.86
Compresión	MOR	130	13.79	310	18.60
	MOE	31775	22.56	77500	11.76
Cizallamiento	Radial	59.88	14.15	113.06	19.45
	Tangencial	72.65	20.87	126.87	12.50
Dureza Janka	Radial	173	7.88	333	6.87
	Tangencial	189	9.04	360	7.90
	Transversal	218	5.78	404	6.53
<i>Platanus mexicana</i>					
Flexión estática	MOR	1000	22.45	1390	20.65
	MOE	82417	20.86	114560	21.80
Compresión	MOR	252	19.65	600	17.65
	MOE	65100	21.05	155000	19.52
Cizallamiento	Radial	95.33	14.15	205.87	19.45
	Tangencial	110.02	17.44	225.87	13.99
Dureza Janka	Radial	302	6.56	620	9.10
	Tangencial	305	6.85	635	5.87
	Transversal	326	6.94	681	7.77
<i>Quercus rugosa</i>					
Flexión estática	MOR	1198	13.61	1501	20.31
	MOE	97835	17.80	122580	19.21
Compresión	MOR	297	15.80	744	22.98
	MOE	75768	15.02	180400	19.08
Cizallamiento	Radial	93.03	22.62	319.45	15.67
	Tangencial	115.76	20.11	349.16	15.41
Dureza Janka	Radial	411	8.76	956	6.99
	Tangencial	450	8.05	1033	7.23
	Transversal	480	6.11	1110	7.99

[§] Módulos de rotura (MOR) y elasticidad (MOE) a la flexión estática, expresados en kg/cm².

[¥] Módulos de rotura (MOR) y elasticidad (MOE) a la compresión paralela a las fibras, expresados en kg/cm².

[¶] Corte o cizallamiento paralelo a las fibras promedio, expresado en kg/cm².

[†] Medida de la fuerza necesaria para incrustar una pelota de 0.444 pulgadas de acero a la mitad de su diámetro dentro de la madera, expresada en kg/cm².

⁺ madera en estado verde con humedad > 30 %.

[‡] Madera en estado seco con humedad constante al 12 %.

5. CONCLUSIONES

La madera de *Quercus rugosa* resulto ser más resistente al ataque de hongos mostrando la menor incidencia en las muestras durante los nueve meses de observación, seguido de la madera de *P. mexicana*.

Puede concluirse que la madera que se le aplicó barniz no tuvo incidencia de hongos durante el experimento para ninguna de las especies *Alnus acuminata*, *Pinus patula*, *Quercus rugosa* y *Platanus mexicana* lo cual resulta favorable para la utilización de estas maderas.

Los resultados obtenidos para las propiedades mecánicas de la madera indican que las especies de *Alnus acuminata* y *Pinus patula* son maderas blandas mientras que *Quercus rugosa* y *Platanus mexicana* son maderas duras por lo cual no se trabajan en la región debido a la falta de maquinaria para poder trabajar estas especies de alta durabilidad.

Recomendamos ampliar la investigación de durabilidad de la madera de especies como *Alnus acuminata* ya que en la región solo se utiliza para la fabricación de cucharas o leña al igual que *Quercus rugosa* que es empleada para la fabricación de leña y carbón.

Ampliar la investigación sobre la madera de *Platanus mexicana* ya que en la región no es utilizada sin embargo en otros países es de gran importancia.

LITERATURA CITADA

Aguilar, A. M., Aguilar, R, S., y Terrazas T. 2011. Anatomía de la madera de doce especies de un bosque mesófilo de montaña de Tamaulipas, México. *Madera y Bosques* 20(3): 69-86.

Associação Brasileira De Normas Técnicas (ABNT). 1985. NBR 6230: métodos de ensaio para madeiras. Río de Janeiro, Brasil. 89 pp.

Berrocal, J. A. 2007. Clasificación de daños producidos por agentes de biodeterioro en la madera Kurú: *Revista Forestal Costa Rica* 4(10): 9 pp.

Canales, P. J. 2014. Resistencia al cizallamiento de tarugos de madera de *Calycophyllum spruceanum* Benth (capirona) en el ensamble de piezas de madera. Tesis Universidad Nacional de Ucayali Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, Perú. 56 pp.

Cárdenas, P.D., y Polanco, T. C. 2004. Durabilidad natural de la madera *Trichospermum colombianum* (algodoncillo). *Colombia Forestal* 8 (17): 120-129.

Cervantes, V. X. E., Andrade, O.J. Á., Ramírez, B. C. A. y Bravo, G. L. R. 2015. Durabilidad natural de tableros aglomerados de cocotero *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 6 (28): 188-201.

Colín U. S. 2015. Durabilidad de la madera de siete especies tropicales con importancia comercial en México. Tesis. Universidad Autónoma de Nuevo León Facultad de ciencias forestales. 75 pp.

De la Cruz-Carrera, R., Carrillo-Parra, A., Nájera-Luna, J. A., Cruz-Cobos, F., Hernández-Francisco, J., y Méndez-González, J. 2018. Durabilidad natural de la madera de siete especies forestales del Salto de Durango. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*. 9(46): 103-130.

De la Mata, J. J. 2011. Influencia de la humedad de la madera en la evaluación de las propiedades mecánicas del pino silvestre mediante técnicas no destructivas. Universidad Politécnica de Madrid. 149 pp.

De la Paz P. O., R. Dávalos-Sotelo, R. Limón G. y Quintanar I. P. A. 2015. Características tecnológicas de la madera de dos especies de *Quercus* de Durango, México. *Madera y Bosques* 21(3):19-46.

Díaz, M. P .P. 2005. Evaluación de Propiedades Físicas y Mecánicas de madera de *Nothofagus glauca* (Hualo) proveniente de la zona de Cauquenes. Facultad de Ciencias Forestales. Talca-Chile 169 pp.

García, E. 2004. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México. Núm. 6, 5ª edición. México. 91 p.

García, B. L. C. 2008. Durabilidad natural en maderas de *miconia Barbeyana cogniaux*, *Jacaranda éopaia* (aubl.) D. Don y *Schizolobium amazonicum* (huber) ducke a la Acción de los hongos *Polyporus versicolor* l. Ex Fr y *Heterobasidium annosum* (fr.) Karst .Tesis de licenciatura. Universidad Nacional Agraria de la Selva Facultad de recursos naturales renovables. Tingo María, Perú. 78 pp.

Gilson, B. S. T. M. 2010. Descripciones de las propiedades físicas y mecánicas de la madera. 1a ed. Posadas: EdUNaM - Editorial Universitaria de la Universidad Nacional de Misiones. Argentina. 58 pp.

Gómez, E. A., Ríos, L. A., y Peña, J. D. 2012. Madera, un potencial material lignocelulósico para la producción de biocombustibles en Colombia. *Información Tecnológica*. 23(6): 73-86.

Honorato S. J. A., Vázquez, S. L., Zamudios, S. F. J. (2001). Durabilidad natural de la madera de cinco especies de Quercus del estado de Puebla. Polibotánica. 100 pp.

López, F. J. E. 2006. Propiedades físico-mecánicas del Aliso, *Alnus acuminata* H.B.K., proveniente de Chalaco. Universidad Nacional Agraria La Molina. Facultad de Ciencias Forestales, Lima-Perú. 107 pp.

Mediavilla, M F. V. 2016. Propiedades físicas, químicas y de trabajabilidad de la madera de *Alnus nepalensis*. Tesis de licenciatura. Facultad de ingeniería en ciencias agropecuarias y ambientales, Ibarra –Ecuador. 90 pp.

Mier, S. D. 2013. Aplicaciones de la madera en ingeniería y métodos de su preservación. Tesis Instituto Politécnico Nacional, México. 81 pp.

Murace, M. y Spavento, E. 2014. Durabilidad de las maderas. Curso Xilotecología. Facultad de ciencias Agrarias y Forestales. UNLP. 10 p.

Nájera-Luna, J. A., P. García-Ramírez, B. Vargas-Larreta, R. De La Cruz-Carrera, F. J. Hernández y C. G. Aguirre-Calderón. 2010. Pérdida de masa en la madera de cuatro especies forestales de Durango por exposición a dos tipos de sustrato. (1): 9-13

Ortiz, R., Moreno, L., Ramírez, R. y Olivero, P. 2011. Determinación de los modelos de biodeterioro en elementos de madera producidos por hongos de pudrición en edificaciones de la zona de conservación histórica de Valparaíso, Chile. Revista de la Construcción 10 (2): 82-88.

Ospina, P. C. M., Hernández, R. R. J., Rincón, E. A., Sánchez O. F. A., Urrego M. J. B., Rodas, P. C. A., Ramírez C. C.A., y Riaño, H. N. M. 2011. Pino pátula. Centro Nacional de Investigaciones. 105 pp.

Pérez, O. C. y Dávalos S, R . 2008. Algunas características anatómicas y tecnológicas de la madera de 24 especies de *Quercus* (encinos) de México. *Madera y Bosques* 14 (3): 43-80.

Pérez, O. P. C., Vélez, J. S., y Ceja, R. J. 2006. Anatomía de la madera de ocho especies de *Quercus* (Fagaceae) de Oaxaca, México *Madera y Bosques* 12 (1): 63-94.

Perrot, T., Salzet, G., Amusant N., Beauchene, J., Gerardin P., Dumarcay S., Sormani, R., Morel-Rouhier, M. and Gelhaye E .2019. A reverse chemical ecology approach to explore wood natural durability. Universite de Lorraine, INRA, France. 14 pp.

Polanco, T. C., Caicedo, V. J. C, y Beltrán, H. D. 2014. Durabilidad natural y descripción anatómica de la madera de la especie *Caryodaphnopsis cogolloi* Van der Werf. Colombia. 17 (1): 25-39.

Quiñones, V. A. A. 2015. Aplicación y evaluación de tratamientos térmicos en la madera de *Pinus durangensis* Martínez Y *Quercus sideroxyla* Humb. & Bonpl. Tesis. Universidad Autónoma de Nuevo León Facultad de ciencias forestales 65 pp.

Ramos, L. H. M. 2014. Durabilidad natural de tres especies forestales a la acción de dos hongos xilófagos. Tesis de licenciatura. Universidad Nacional Agraria la Molina, Facultad de Ciencias Forestales Lima, Perú 104 pp.

Ramos, M. y Aguilera, V. 2014. Ciencias de la Ingeniería y Tecnología, Handbook - ECORFAN- Valle de Santiago, Guanajuato. 22 pp.

Serna-Mosquera, Y. B. Torres-Torres, J. J., y Asprilla-Palacios, Y. Y. 2020. Durabilidad natural de la madera de *Ochroma pyramidale* Urb. en el municipio de Atrato, Colombia. 16 (1):192-202.

Spavento, E. M., Keil, G. D. y Monteoliva, S. 2008. Propiedades mecánicas de la madera. Facultad de ciencias agrarias y forestales universidad nacional de la plata. Argentina 26 pp.

Tapia, C. j. C. 2010. Durabilidad natural de *Eucalyptus nitens* frente al ataque de hongos xilófagos. Tesis Universidad de Chile facultad de ciencias forestales y recursos naturales. 43 pp.

Telles, A., R., Nájera-Luna, J. A., Alanís-Rodríguez, E., Aguirre-Calderón O., A., Jiménez-Pérez, J., Gómez-Cárdenas, M. y Muñoz-Flores, H. J. 2017. Propiedades físico-mecánicas de la madera *Tectona grandis* L. f. de una plantación comercial en el estado de Michoacán. Revista Mexicana de Ciencias Forestales. 8 (40): 37-56.

Ugalde-Vidal G. P. 2003. Determinación de la pérdida de peso y las mejoras en la estabilidad dimensional para *Pinus radiata* D.Don. en un tratamiento térmico con Oxígeno. Valdivia 52 pp.

UNE EN 350-1 (1995). Durabilidad de la madera y de los materiales derivados de la madera. Durabilidad natural de la madera maciza. Parte 1: Guía para los principios de ensayo y clasificación de la durabilidad natural de la madera. Madrid: Asociación Española de Normalización y Certificación.

Vallejo Á. y Zapata F. 2018. Pino pátula. Universidad Nacional, sede Medellín. Forestal Maderero

Vásquez, P. J. M. 2006. Durabilidad natural en tres niveles del árbol de la especie forestal *Miconia barbeyana* cogniaux (paliperro) a la acción del hongo *Ganoderma applanatum*. Tesis de licenciatura. Universidad Nacional Agraria de la Selva Facultad de recursos naturales renovables Tingo María, Perú. 68 pp.

Williams, L. G. 1996. Crecimiento diamétrico de árboles caducifolios y perennifolios del bosque mesófilo de montaña en los alrededores de Xalapa. *Madera y Bosques*, Instituto de Ecología, A.C. Xalapa, México. 2 (2): 53 -65.

Anexos

Anexo 1. Promedio de condiciones climáticas del sitio experimental.

	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
precipitación	20.3	21.1	14.3	36.6	51.7	128.6	124.6	118.8	225.6	159.5	48.5	21.5
temperatura	11.2	12.2	14.2	15.8	16.6	15.8	14.5	14.6	14.4	13.6	12.6	11.7

Anexo 2. ANOVA para la variable de contenido de humedad.

Respuesta: humedad	GL	SC	MC	Valor F	Pr (>F)
Especie	3	14281.3	4760.4	208.95	2.2e-16
Residuales	36	820.2	22.8		
Código de significancia	0	0.001	0.01	0.05	0.1 1

Anexo 3. ANOVA para la variable de masa inicial.

Respuesta: masa	GL	SC	MC	Valor F	Pr (>F)
Especie	3	237.34	79.112	14.37	2.031e-06
Residuales	36	193.34	5.371		
Código de significancia	0	0.001	0.01	0.05	0.1 1

Anexo 4. Análisis multivariado (MANOVA) para la variable de área deteriorada.

Prueba II MANOVA

Suma de cuadrados y productos por error

	[,1]	[,2]	[,3]
[1,]	28.158	-0.322	0
[2,]	-0.322	48.399	0
[3,]	0.000	0.000	0

Termino: especie

Suma de cuadrados y productos para la hipótesis

	[,1]	[,2]	[,3]
[1,]	2672.626	2768.807	0
[2,]	2768.807	2904.835	0
[3,]	0.000	0.000	0