

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO FORESTAL



Durabilidad Natural de la Madera de *Pinus greggii* Engelm. Proveniente de Dos
Plantaciones Forestales en Durango, México

Por:

YEIMI YARETH GRANADOS VAZQUEZ

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO FORESTAL

Saltillo, Coahuila, México

Junio 2025

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO FORESTAL

Durabilidad Natural de la Madera de *Pinus greggii* Engelm. Proveniente de Dos
Plantaciones Forestales en Durango, México

Por:

YEIMI YARETH GRANADOS VAZQUEZ

TESIS


Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO FORESTAL


Aprobada por el Comité de Asesoría:




Dr. Genaro Esteban García Mosqueda
Asesor Principal




Dr. Crisanto Velázquez Becerra
Asesor Principal Externo



Dra. Rosalinda Cervantes Martínez
Coasesor



Dr. Dino Ulises González Uribe
Coasesor



Dr. Alberto Sandoval Rangel
Coordinador de la División de Agronomía



Saltillo, Coahuila, México

Junio 2025

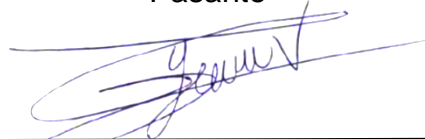
Declaración de no plagio

El autor quien es el responsable directo, jura bajo protesta de decir verdad que no se incurrió en plagio o conducta académica incorrecta en los siguientes aspectos:

Reproducción de fragmentos o textos sin citar la fuente o autor original (corta y pega); reproducir un texto propio publicado anteriormente sin hacer referencia al documento original (auto plagio); comprar, robar o pedir prestados los datos o la tesis para presentarla como propia; omitir referencias bibliográficas o citar textualmente sin usar comillas; utilizar razonamientos o ideas de un autor sin citarlo; utilizar material digital como imágenes, videos, ilustraciones, gráficas, mapas o datos sin citar al autor original y/o fuente, así mismo tengo conocimiento de que cualquier uso distinto de estos materiales como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por las autoridades correspondientes.

Por lo anterior me responsabilizo de las consecuencias de cualquier tipo de plagio en caso de existir y declaro que este trabajo es original.

Pasante



Yeimi Yareth Granados Vazquez

DEDICATORIA

A mis padres. Marisol Vazquez Barrera y Julio Granados Isidro, por darme la vida, por brindarme su amor incondicional, por siempre confiar y creer en mí.

A mis hermanos. Julio Alexander Granados Vazquez y Yaretzi Jazmín Granados Vazquez, por darme el privilegio de crecer a su lado.

A mis abuelos, por el ejemplo de superación personal, y de amor absoluto a la familia.

A mis tíos. Jorge Granados Isidro, J. Isabel Granados Isidro, Lorena Granados Isidro y Heriberto Granados Isidro, por toda la diversión, cariño y apoyo que me han brindado.

A mis primos, por cada pequeño momento de alegría.

A Percy, Hazel y Gemma, por ser mi soporte emocional y los seres más bellos del universo.

A Samuel Alvarado Rodriguez, por convertirse en mi lugar seguro y hacer que este camino sea más llevadero.

En memoria de Heriberto Granados Manzo, el mejor abuelo del mundo.

Esto es por y para ustedes, los amo mucho.

AGRADECIMIENTOS

A Dios, al universo y a la vida, por el amor recibido, por haberme concedido la familia que tengo, por los amigos y por cada persona maravillosa que he encontrado en mi camino.

A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, por brindarme la oportunidad de formar parte de su comunidad.

Al Departamento Forestal, por proporcionarme las bases fundamentales de esta noble profesión.

Al Posgrado en Tecnología de la Madera de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, por ofrecerme las herramientas necesarias para llevar a cabo esta investigación, y a cada uno de sus integrantes, por compartir su conocimiento, su tiempo y su valiosa compañía. Espero volver a verlos pronto.

A mis asesores de tesis, Dr. Genaro Esteban García Mosqueda, Dr. Crisanto Velázquez Becerra, Dr. Dino Ulises González Uribe y Dra. Rosalinda Cervantes Martínez, por su constante apoyo, orientación y consejos.

A la sociedad de Plantadores Forestales Comerciales del Estado de Durango S.P.R de R.L, tanto al C. José Oscar Rivera Jiménez y al Ing. Jesús José Salas Quiñones, por las facilidades otorgadas para el presente estudio.

Al Ing. José Jil Cabrera Hernández, por su colaboración en la colecta y procesamiento de las muestras utilizadas en el presente estudio.

A David Avendaño, Angélica Herrera y Antonio Bocanegra, por su amistad, confianza y apoyo a lo largo de esta travesía, los quiero mucho.

A María Guadalupe Fuentes, Sandra Olguín y Alonso Falcón, por cada momento compartido, por su comprensión y por hacer que el cariño perdure a pesar del paso del tiempo.

CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN	1
2	REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1	Madera	3
2.2	Durabilidad natural de la madera	3
2.3	Agentes destructores de la madera	4
2.3.1	Hongos xilófagos	4
2.3.2	Clasificación taxonómica de <i>Trametes versicolor</i>	5
2.3.3	Clasificación taxonómica de <i>Gloeophyllum trabeum</i>	6
2.4	Descripción de la especie de interés	6
2.4.1	Madera de <i>Pinus greggii</i>	7
2.5	Norma oficial para la clasificación: ASTM-D-2017-05	7
3	MATERIALES Y MÉTODOS	8
3.1	Ubicación y características de las plantaciones	8
3.2	Elaboración de las probetas	8
3.3	Acondicionamiento y primer pesaje	9
3.4	Esterilización	9
3.5	Hongos Xilófagos	9
3.6	Medios de cultivo e inoculación	10
3.7	Preparación de los frascos de ensayo	10
3.7.1	Exposición de las probetas de referencia y el período de exposición	10
3.8	Cálculo de pérdidas de peso	11
3.9	Determinación del número de anillos y proporción de madera tardía 11	
3.10	Análisis de resultados	11

3.10.1	Prueba de <i>t</i>	11
3.10.2	Análisis de correlación de Pearson.....	12
4	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	13
4.1	Pérdida de masa	13
4.2	Determinación de la durabilidad natural.....	14
4.3	Comparación entre plantaciones.....	16
4.3.1	Tratamiento con <i>Gloeophyllum trabeum</i>	16
4.3.2	Tratamiento con <i>Trametes versicolor</i>	17
4.4	Comparación entre tratamientos.....	19
4.4.1	Plantación A.....	19
4.4.2	Plantación B.....	20
4.5	Análisis de Correlación	22
4.5.1	Plantación A.....	23
4.5.2	Plantación B.....	23
5	CONCLUSIONES.....	26
6	LITERATURA CITADA	27

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Clasificación de durabilidad según la Norma ASTM D 2017	7
Cuadro 2 . Pérdida de peso (%) de la madera de <i>Pinus greggii</i> sometida a dos tratamientos de pudrición. Proveniente de dos plantaciones forestales en el estado de Durango, México.	13
Cuadro 3. Durabilidad natural de la madera de <i>Pinus greggii</i> de dos plantaciones provenientes del estado de Durango, México, sometidas a dos tratamientos de pudrición.	15
Cuadro 4. Prueba de <i>t</i> para comparación con <i>Gloeophyllum trabeum</i> entre plantación A y B, en madera de <i>Pinus greggii</i> de Durango, México.....	16
Cuadro 5. Prueba de <i>t</i> para comparación con <i>Trametes versicolor</i> entre plantación A y B en madera de <i>Pinus greggii</i> de Durango, México.....	17
Cuadro 6. Prueba de <i>t</i> para comparación con plantación A y dos tratamientos de pudrición en madera de <i>Pinus greggii</i> de Durango, México.....	20
Cuadro 7. Prueba de <i>t</i> para comparación con plantación B y dos tratamientos de pudrición en madera de <i>Pinus greggii</i> de Durango, México.....	21
Cuadro 8. Grado de asociación entre las variables para el tratamiento con <i>Gloeophyllum trabeum</i>	23
Cuadro 9. Grado de asociación entre las variables para el tratamiento con <i>Trametes versicolor</i>	23
Cuadro 10. Grado de asociación entre las variables para el tratamiento con <i>Gloeophyllum trabeum</i>	24
Cuadro 11. Grado de asociación entre las variables para el tratamiento con <i>Trametes versicolor</i>	24

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Comparación de medias de pérdida de peso porcentual del tratamiento con <i>Gloeophyllum trabeum</i> en plantación A y B, en madera de <i>Pinus greggii</i> de Durango, México.	16
Figura 2. Comparación de medias de pérdida de peso porcentual del tratamiento con <i>Trametes versicolor</i> en plantación A y B en madera de <i>Pinus greggii</i> de Durango, México.	17
Figura 3. Comparación de medias de pérdida de peso porcentual de los tratamientos para la plantación A, en madera de <i>Pinus greggii</i> de Durango, México.	19
Figura 4. Comparación de medias de pérdida de peso porcentual de los tratamientos para la plantación B, en madera de <i>Pinus greggii</i> de Durango, México.	20

RESUMEN

El presente estudio evaluó la durabilidad natural de la madera de *Pinus greggii* frente a dos tipos de hongos xilófagos: *Gloeophyllum trabeum* (pudrición parda) y *Trametes versicolor* (pudrición blanca), conforme a los lineamientos establecidos en la norma ASTM D 2017. La madera utilizada provino de dos plantaciones, la "A" de 7 años y la "B" de 11 años, respectivamente, ubicadas en el estado de Durango, México. Los resultados permitieron clasificar la especie como Moderadamente resistente frente a la pudrición parda y Resistente frente a la pudrición blanca, en ambas plantaciones.

El análisis estadístico mostró diferencias significativas en el porcentaje de pérdida de peso entre ambas plantaciones, tanto para *G. trabeum* ($P < 0.05$) como para *T. versicolor* ($P < 0.05$), siendo la plantación "A" de 7 años, la que presentó mayores niveles de deterioro. Asimismo, se identificaron diferencias altamente significativas ($P < 0.05$) entre los tratamientos fúngicos dentro de la plantación "A" y "B", lo cual evidenció la distinta agresividad de los hongos y la variable respuesta del material. Por otro lado, se realizaron análisis de correlación entre el número de anillos, la proporción de madera tardía y la pérdida de masa. Los valores fueron bajos y no significativos, lo que indicó una débil relación entre las variables. Esta falta de correlación podría atribuirse a la homogeneidad de las condiciones de crecimiento de ambas plantaciones, siendo recomendable analizar la correlación con otras variables físicas relevantes.

Palabras clave: Agentes xilófagos, Degradación de la madera, *Gloeophyllum trabeum*, Pruebas aceleradas en laboratorio, *Trametes versicolor*.

ABSTRACT

The present study evaluated the natural durability of *Pinus greggii* wood against two types of wood-decaying fungi: *Gloeophyllum trabeum* (brown rot) and *Trametes versicolor* (white rot), following the guidelines established in ASTM D 2017 standard. The wood samples were sourced from two plantations, "A" (7 years old) and "B" (11 years old), respectively, located in the state of Durango, Mexico. The results allowed classifying the species as Moderately resistant to brown rot and Resistant to white rot in both plantations.

Statistical analysis showed significant differences in the percentage of weight loss between both plantations for both *G. trabeum* ($P < 0.05$) and *T. versicolor* ($P < 0.05$), with the 7-year-old plantation "A" exhibiting higher levels of deterioration. Furthermore, highly significant differences ($P < 0.05$) were identified among fungal treatments within plantations "A" and "B," which evidenced the differing aggressiveness of the fungi and the variable response of the material.

On the other hand, correlation analyses were performed between the number of growth rings, the latewood proportion, and mass loss. The values were low and not significant, indicating a weak relationship between the variables. This lack of correlation could be attributed to the homogeneity of the growth conditions in both plantations, suggesting that correlation with other relevant physical variables should be analyzed.

Keywords: Xylophagous agents, Wood degradation, *Gloeophyllum trabeum*, Accelerated laboratory tests, *Trametes versicolor*.

1 INTRODUCCIÓN

Se define la durabilidad de la madera como el grado de resistencia de una especie al ataque de hongos xilófagos en condiciones que favorecen el ataque (ASTM, 1999).

Las maderas varían en su resistencia ante la presencia de agentes micóticos. Esto debido a la estructura y las proporciones de sustancias químicas presentes en los tejidos leñosos, que varían según la especie, la edad del árbol y las condiciones de desarrollo. (I.P.T, 1986).

Se utilizan metodologías de campo y laboratorio para determinar la durabilidad de las maderas, en este caso se realizarán las denominadas Pruebas aceleradas en laboratorio; En un lapso de tiempo relativamente corto, se pueden obtener datos sobre el rendimiento de una cepa de hongos o sobre la durabilidad o resistencia natural de una madera mediante pruebas en laboratorio. Estos ensayos requieren:

1. Control riguroso de los procedimientos y técnicas de laboratorio para establecer el trabajo en ambientes de asepsia.
2. Control de las variables más cruciales involucradas en el proceso, como: temperatura, humedad relativa y ventilación (Bobadilla *et al.*, 2005).

Para llevar a cabo ensayos de laboratorio existen diversas técnicas; en esta ocasión se empleó una adaptación de la metodología de la norma ASTM D 2017 que consiste en la exposición de hongos xilófagos a probetas de madera en condiciones controladas dentro de frascos de ensayo con suelo. Con base en los resultados obtenidos, se realizó una comparación entre las dos plantaciones evaluadas bajo los tratamientos establecidos, además de un análisis comparativo entre los efectos de ambos tipos de pudrición dentro de cada plantación.

1.1 Objetivo general

Determinar la durabilidad natural de la madera proveniente de dos plantaciones forestales de *Pinus greggii* Engelm. en Durango, México, expuestas al ataque de hongos xilófagos mediante la metodología de la norma ASTM D 2017.

Objetivos específicos

Determinar si existe diferencia significativa respecto a la durabilidad natural de la madera entre ambas plantaciones.

Determinar si existe diferencia significativa respecto a la durabilidad natural entre los dos tratamientos dentro de cada población.

Determinar la correlación entre el número de anillos por probeta y el porcentaje de pérdida de peso promedio.

Determinar la correlación entre la proporción de madera tardía y el porcentaje de pérdida de peso promedio.

1.2 Hipótesis

Ho: No hay diferencia significativa con respecto a la durabilidad natural de la madera entre ambas plantaciones forestales.

Ho: No hay diferencia significativa con respecto a la durabilidad natural de la madera entre los dos tratamientos en la plantación A.

Ho: No hay diferencia significativa con respecto a la durabilidad natural de la madera entre los dos tratamientos en la plantación B.

Ho: No existe correlación entre el número de anillos por probeta y el porcentaje de pérdida de peso promedio.

Ho: No existe correlación entre la proporción de madera tardía y el porcentaje de pérdida de peso promedio.

2 REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Madera

La madera constituye un material natural biológico, renovable, orgánico, poroso, higroscópico, heterogéneo y anisotrópico. Es esencial reconocer estas características, ya que les otorgan propiedades específicas que inciden en su uso, resistencia y vulnerabilidad frente a agentes bióticos y abióticos.

La madera tiene dos formas de composición;

Elemental: La madera contiene aproximadamente un 50% de carbono, 43% de oxígeno, 6% de hidrógeno, 0.8% de nitrógeno y un 0.2% de minerales (presentes como cenizas).

Química: los compuestos predominantes son holocelulosa (65 a 75%) la cual se subdivide en celulosa y hemicelulosa, lignina (presente en un 20 a 30%) y sustancias accesorias (entre un 3 y 7%) (Fengel y Weneger, 1984; Nutsch, 1996).

2.2 Durabilidad natural de la madera

La durabilidad natural de la madera se refiere al conjunto de propiedades específicas que posee cada especie, las cuales le otorgan una resistencia particular durante su uso, cuando no se le ha aplicado ningún tipo de tratamiento para su preservación (Bobadilla, 2004). Esta resistencia puede variar incluso dentro de una misma especie, dependiendo de factores como la parte del árbol de la que proviene la madera, si corresponde a la albura o al duramen, y la cantidad de sustancias accesorias naturales que contenga, como resinas, fenoles o taninos (Rodríguez, 1998).

La durabilidad natural está ligada al periodo en que la madera mantiene óptimas sus propiedades físico-mecánicas, tales como la dureza, flexión, contracción, humedad, peso específico, etc. Conocer la durabilidad de la madera ayuda a predecir y prevenir daños causados por la susceptibilidad de la madera frente a agentes destructivos (Vásquez, 2006).

2.3 Agentes destructores de la madera

Los principales factores que deterioran la madera se dividen en dos categorías: bióticos y abióticos. Los agentes abióticos incluyen elementos como el agua del subsuelo, la exposición solar y la humedad ambiental, para el caso de los bióticos destacan insectos, hongos, bacterias y algunas plantas (Coulson y Witter, 1990; Cruz de León, 2010).

Entre los organismos responsables de la degradación de la madera, los hongos xilófagos provocan el mayor daño al ser los descomponedores predominantes en los ecosistemas terrestres. Estos agentes biológicos ejercen un impacto destructivo, ya sea con fines de alimentación o para establecerse (Akhtar, 1998).

Los hongos actúan cuando la madera es sometida a niveles elevados de humedad o cuando las condiciones durante la temporada de lluvias favorecen una humidificación excesiva (Cruz de León, 2010). Estos organismos son capaces de descomponer moléculas complejas tales como hemicelulosas, pectinas, lignina, celulosa y almidón (Akhtar, 1998).

2.3.1 Hongos xilófagos

Los hongos xilófagos pertenecen a los phylum Ascomycota y Basidiomycota, dentro de las clases Ascomicetes y Basidiomicetes, además de incluirse también en los Deuteromicetes (Cruz de León, 2010). Los hongos más significativos, en pudrición de la madera, se encuentran en la clase Basidiomicetes, los cuales tienen la capacidad de desintegrar paredes celulares, descomponiendo lignina mediante oxidación y celulosa mediante hidrólisis (Buswell, 1990; Akhtar, 1998).

Una característica de los hongos xilófagos es que se desarrollan mediante estructuras denominadas micelios, reproduciéndose por medio de esporas. Estos hongos tienen la capacidad de descomponer paredes celulares de la madera en distintos grados. Se clasifican principalmente en hongos blancos, pardos y blandos, categorías que responden al tipo de daño que causan en la madera. Su acción genera procesos de pudrición mediante la liberación de sustancias químicas, actuando a distintas velocidades y provocando patrones variados de descomposición (Bobadilla, 2004; Kubicek, 2012).

En cuanto a su estructura, los hongos presentan una organización sencilla. El cuerpo fructífero está compuesto por hifas, células que se agrupan para formar el micelio. Esta red de hifas es responsable de la nutrición del hongo, al segregar enzimas que descomponen los componentes de la madera. Según la especie, dichas enzimas pueden actuar sobre el contenido celular, las paredes celulares, o bien sobre compuestos como la lignina y la celulosa (Bobadilla, 2004).

La pudrición blanca se caracteriza porque el agente causal degrada más lignina que celulosa, esta sigue dos patrones de degradación: selectiva, caracterizada por la eliminación de lignina y hemicelulosa; y simultánea donde, disminuyen los componentes de la pared celular. La pudrición selectiva impacta más a la madera de latifoliadas que a la de coníferas, debido a su mayor contenido de lignina. La madera dañada por la degradación selectiva, presenta color blanquecino, de aspecto harinoso o fibroso (Buswell, 1990; Peraza-Sánchez, 2001).

La pudrición parda suele ser más grave e incluso peligrosa ya que esta degrada celulosa y hemicelulosa de la pared celular, mientras dejan a la lignina sin daño, la madera afectada suele ser marrón oscuro, y presenta grietas perpendiculares y transversales, formando estructuras laminares o prismáticas (Buswell, 1990; Zabel y Morrell, 1992; Coulson, 1998).

2.3.2 Clasificación taxonómica de *Trametes versicolor*

Reino: Fungi

Filo: Basidiomycota

Clase: Agaricomycetes

Orden: Polyporales

Familia: Polyporaceae

Género: *Trametes*

Especie: *Trametes versicolor*

Este hongo es causante de la podredumbre blanca. Los micelios producen cambios en el color de la madera, estos se alimentan de sustancias de reserva, como azúcares y almidones presentes en la albura dentro de las células, sin embargo, no ataca las paredes celulares, que son las estructuras que sustentan la madera (Coulson, 1998).

2.3.3 Clasificación taxonómica de *Gloeophyllum trabeum*

Reino: Fungi

Filo: Basidiomycota

Clase: Agaricomycetes

Orden: Gloeophyllales

Familia: Gloeophyllaceae

Género: *Gloeophyllum*

Especie: *Gloeophyllum trabeum*

Es un hongo causante de la podredumbre parda, tanto de caducifolios, como de coníferas. Posee la capacidad de despolimerizar celulosa y hemicelulosa sin quitar la barrera de la lignina. Es frecuente en los bosques de coníferas (Santa Regina, 2003).

2.4 Descripción de la especie de interés

Pinus greggii es un árbol de entre 10 y 15 metros de altura, posee corteza lisa grisácea en su estado juvenil, posteriormente, se vuelve oscura y áspera. En su forma natural está presente en poblaciones aisladas en la Sierra Madre Oriental en altitudes de 1,280 a 2,550 msnm, habita suelos delgados con texturas de migajón areno-arcillosos, pedregosos, calizos, cafés rojizos, usualmente pobres de materia orgánica y con pH casi neutro. Es una especie que produce poca resina (Eguiluz, 1978). Esta especie ha presentado altas tasas de crecimiento en cuanto a diámetro y altura durante ensayos en plantaciones, así como un notable potencial para adaptarse a condiciones de humedad limitada (Lopez y Muñoz, 1991; Ramírez-Herrera y Vargas-Hernández, 2005; Salazar *et al.*, 2016).

2.4.1 Madera de *Pinus greggii*

En su distribución es uno de los árboles con mayor valor económico (Ramírez-Herrera *et al.*, 2005). La madera de *Pinus greggii* tiene color blanco amarillento, sin olor aparente, con textura fina, suave y ligera. Se destina al aserrío; se usa para durmientes, pilotes para minas, vigas y postes para cercas, muebles y leña. Se aconseja su uso en construcción, ebanistería, decoración interior, lambrín y duelas para cielos rasos (Eguiluz, 1978).

2.5 Norma oficial para la clasificación: ASTM-D-2017-05

Método de prueba estándar de laboratorio acelerado para la resistencia a la descomposición natural de la madera

La durabilidad de la madera se determinó siguiendo los lineamientos D-2017-05 de los Estándares Americanos de Pruebas de Materiales. Este método de ensayo es útil para estimar la capacidad de una especie de madera para resistir ataques microbianos severos y, por lo tanto, su rendimiento. Este método no proporciona valores cuantificables y reproducibles. Es un método de ensayo cualitativo diseñado para proporcionar un método reproducible para determinar la resistencia relativa a la descomposición entre especies de madera (ASTM, 2005).

Cuadro 1. Clasificación de durabilidad según la Norma ASTM D 2017

Pérdida de peso promedio (%)	Peso residual promedio (%)	Clase indicada o resistencia a hongo de prueba específico
0 a 10	90 a 100	Altamente resistente
11 a 24	76 a 89	Resistente
25 a 44	56 a 75	Moderadamente resistente
45 o más	55 o menos	Ligeramente resistente o no resistente

Cuadro adaptado de la norma (ASTM, 2005).

3 MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Ubicación y características de las plantaciones

Las muestras se obtuvieron de dos plantaciones forestales comerciales con ubicación en los municipios de Santiago Papasquiario y Nuevo Ideal, en el estado de Durango en México, en las coordenadas 105°14'12.93" O y 25°7'28.36" N con altitud de 1,750 msnm, y 105°5'55.75" O y 24°52'38.65" N, con altitud de 1,995 msnm, respectivamente.

La plantación del municipio de Santiago Papasquiario fue establecida en 2014. Se aplicó un sistema de plantación de marco real, dejando un espacio de 2.70 m entre las plantas y de 3.00 m entre las filas, resultando en una densidad de 1,250 árboles por hectárea. Las muestras de esta plantación tenían 7 años cuando se colectaron. Para fines de este proyecto, se le asignó el nombre de Plantación A.

La plantación del municipio de Nuevo Ideal fue establecida en 2010. En ella también se utilizó el sistema de plantación de marco real, con un espaciamiento de 2.50 m entre plantas y 2.70 m entre filas, logrando una densidad de 1,750 plantas por hectárea, las muestras de esta plantación tenían una edad de 11 años al momento de la recolección. Para fines de este proyecto, se le asignó el nombre de Plantación B.

3.2 Elaboración de las probetas

Se obtuvieron rodajas de 20 árboles (10 rodajas de cada plantación) de *Pinus greggii*, obtenidas en la base del fuste. Para el dimensionado de las probetas se empleó una sierra de banco (Stanley, modelo STST1825B3) con una sierra disco de 10" (254 mm). Para tener muestras representativas de la madera; las probetas se cortaron de manera que presentaran los cortes típicos. De igual forma, se marcaron con los datos de su especie, procedencia y número de probeta.

Se prepararon un total de 120 probetas con dimensiones de 25 x 25 x 9 mm, las cuales se distribuyeron entre los dos tratamientos: hongos de pudrición blanca y parda. Se asignaron 40 probetas como grupo control, 40 probetas para *Trametes versicolor*, y 40 probetas para *Gloeophyllum trabeum*.

Asimismo, conforme a la metodología establecida en la norma ASTM D 2017, se prepararon probetas de referencia con las mismas dimensiones, utilizando madera de *Pinus devoniana* proporcionada por el laboratorio de Física y Mecánica de la Madera de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Estas probetas se emplearon para validar el experimento y fueron distribuidas entre los dos tratamientos de pudrición; 16 como grupo testigo y 16 para cada tipo de hongo.

3.3 Acondicionamiento y primer pesaje

Se colocaron las probetas en el horno de secado (REDLINE) por 24 horas a $103\pm 2^{\circ}$ C, hasta lograr su peso de equilibrio, tomando como referencia la norma de Métodos de prueba estándar para la medición directa del contenido de humedad en madera y materiales a base de madera (ASTM D 4442).

Se utilizó un desecador para colocar las probetas durante su enfriamiento, con el fin de evitar variaciones de peso causadas por diferencias en la humedad relativa. El primer registro obtenido fue el peso W_1 , correspondiente al peso en equilibrio de las probetas de la especie de interés (*P. greggii*) según la norma ASTM D 2017. Para ello, cada probeta fue pesada utilizando una balanza analítica digital (ADAM, PW124) con una capacidad de 120 g y una precisión de 0.0001 g.

Asimismo, se determinaron los pesos de secado en horno de las probetas de referencia, identificados por la norma como R1. Todas las probetas fueron sometidas al proceso de descomposición bajo las mismas condiciones y por el mismo periodo de tiempo. Las pérdidas de peso final en estas probetas se emplean como valores de referencia, conforme a lo establecido por la norma (ASTM, 2005).

3.4 Esterilización

Se sometieron a esterilización con alcohol al 70 % y luz ultravioleta frascos de plástico de 450 ml, así como sus tapas, por 30 minutos (utilizando una campana de flujo laminar (NOVATECH). Mientras tanto, el sustrato, las probetas y el agua se esterilizaron en autoclave por 15 minutos a 121° C.

3.5 Hongos Xilófagos

Los hongos fueron proporcionados por el laboratorio de Microbiología de la Facultad de Tecnología de la Madera de la Universidad Michoacana de San Nicolás de

Hidalgo; *Gloeophyllum trabeum* Pers. causante de la pudrición parda y *Trametes versicolor*, causante de pudrición blanca.

3.6 Medios de cultivo e inoculación

Se prepararon 100 ml de medio de cultivo Agar Dextrosa de Papa (PDA) en cajas de Petri. Tras verificar que los medios estaban libres de contaminación, se inocularon con los hongos de prueba. Posteriormente, se mantuvieron a temperatura ambiente durante siete días.

3.7 Preparación de los frascos de ensayo

Utilizando una campana de flujo laminar (NOVATECH), se incorporaron en condiciones asépticas y en el siguiente orden dentro de los frascos: primero el sustrato, luego el agua (equivalente al 130 % de la capacidad de retención de agua del suelo embotellado), seguido de las probetas correspondientes (cuatro por frasco, dos por plantación) y, finalmente, un inóculo del hongo con su respectivo medio de cultivo (PDA) sobre cada probeta.

Para la inoculación, se realizó un corte de aproximadamente 10 mm² del cultivo del hongo en una placa de Petri, el cual se colocó directamente sobre cada probeta. Los frascos inoculados y debidamente etiquetados se mantuvieron con las tapas ligeramente aflojadas (mediante un pequeño giro desde su posición completamente cerrada) a una temperatura de 24 ± 2 °C y en ausencia de luz.

3.7.1 Exposición de las probetas de referencia y el período de exposición

Al finalizar 10 semanas de incubación, se retiraron cuatro probetas de referencia. A estas se les eliminó cuidadosamente el micelio mediante cepillado, se secaron en horno y se pesaron, registrando estos datos como R2. Este procedimiento se repitió a intervalos de dos semanas hasta completar las 16 semanas de incubación (un frasco retirado cada dos semanas). Finalmente, se evaluó la pérdida de peso de las probetas de *P. greggii*, registrándose estos valores como W2.

Para calcular el porcentaje de pérdida de peso de la especie de referencia se utilizó la siguiente fórmula:

$$P\acute{e}rdida\ de\ peso\ \% = \left[\frac{R1 - R2}{R1} \right] * 100$$

3.8 Cálculo de pérdidas de peso

Se calculó el porcentaje de pérdidas de peso en las probetas de prueba individuales de *P. greggii* a partir de los pesos acondicionados antes y después de la exposición a los hongos de descomposición de la siguiente manera:

$$P\acute{e}rdida\ de\ peso\ \% = \left[\frac{W1 - W2}{W1} \right] * 100$$

Los resultados se obtuvieron en términos de pérdida de peso porcentual media o de peso residual porcentual.

3.9 Determinación del número de anillos y proporción de madera tardía

Con apoyo de un calibrador vernier digital (Steren, HER-411) se contó y midió el ancho de cada anillo de crecimiento de las probetas, se midió el ancho de la madera temprana y el ancho del total de los anillos de crecimiento, posteriormente se calculó por diferencia el ancho de la madera tardía.

El porcentaje de madera tardía se determinó con la formula siguiente:

$$MT(\%) = \frac{BMT}{AA} * 100$$

Donde:

MT (%)= Porcentaje de madera tardía.

BMT= Ancho total de la madera tardía por probeta (mm).

AA= Ancho total de los anillos por probeta (mm).

3.10 Análisis de resultados

3.10.1 Prueba de *t*

Para determinar si existían diferencias significativas en el porcentaje de pérdida de peso entre tratamientos se aplicó una prueba *t* para muestras emparejadas. La prueba compara la diferencia observada entre medias con la variabilidad dentro de los datos, generando un estadístico *t* que se contrasta con un valor crítico de la distribución *t* de Student. Si el valor *P* es menor que el nivel de significancia

preestablecido, se rechaza la hipótesis nula, que plantea que no hay diferencia significativa entre las medias (Moore *et al.*, 2014).

El análisis se llevó a cabo utilizando la herramienta de análisis de datos de Microsoft Excel®. Se comparó el valor P con un nivel de significancia $\alpha= 0.05$. Si el valor $P<0.05$, se rechazó la hipótesis nula.

3.10.2 Análisis de correlación de Pearson

Para identificar posibles relaciones lineales entre variables como el número de anillos (x_1), proporción de madera tardía (x_2) y porcentaje de pérdida de peso (y), se aplicó el coeficiente de correlación de Pearson (r) utilizando funciones de Microsoft Excel®.

Para evaluar la relación entre dos variables cuantitativas se utiliza comúnmente el coeficiente de correlación de Pearson (r), el cual mide la intensidad y dirección de una asociación lineal. Su valor oscila entre -1 y +1, donde valores cercanos a ± 1 indican una correlación fuerte (positiva o negativa, respectivamente), y valores cercanos a 0 sugieren una correlación débil o nula (Taylor, 1990).

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Pérdida de masa

La pérdida de masa se utilizó como parámetro para evaluar la severidad del deterioro causado por la actividad fúngica, ya que refleja tanto los daños estructurales a nivel anatómico como los cambios en la composición física de la madera (Carmona, 2021). En el Cuadro 2 se presentan los resultados obtenidos, así como los parámetros estadísticos correspondientes para cada plantación.

Cuadro 2 . Pérdida de peso (%) de la madera de *Pinus greggii* sometida a dos tratamientos de pudrición. Proveniente de dos plantaciones forestales en el estado de Durango, México.

Plantación A	Control	<i>Gloeophyllum trabeum</i>	<i>Trametes versicolor</i>
Pérdida de peso (\bar{x})	4.58±1.58	32.44±16.65	18.57±6.52
Desviación estándar	1.58	16.65	6.52
CV (%)	34.60	51.33	35.10
Plantación B	Control	<i>Gloeophyllum trabeum</i>	<i>Trametes versicolor</i>
Pérdida de peso (\bar{x})	6.18±3.81	25.98±6.89	15.28±5.06
Desviación estándar	3.81	6.89	5.06
CV (%)	61.62	26.51	33.13

Donde: CV= Coeficiente de variación.

Se observó que los valores promedio de pérdida de masa fueron mayores en los tratamientos con *G. trabeum* y *T. versicolor* en la Plantación A, en comparación con la Plantación B. Las diferencias entre plantaciones fueron de 6.46 % para *G. trabeum* y 3.29 % para *T. versicolor*, lo cual sugiere una mayor susceptibilidad de la madera proveniente de la Plantación A frente al ataque de estos hongos.

Adicionalmente, los coeficientes de variación fueron más altos en la Plantación A para ambos tratamientos, lo que indica una mayor dispersión en los datos de pérdida de masa. En contraste, la Plantación B presentó una menor variabilidad, lo que sugiere una mayor uniformidad en la respuesta del material frente a la actividad degradativa de los hongos evaluados.

Estos hallazgos pueden compararse con los reportados por Cruz *et al.* (2018) quienes evaluaron la pérdida de masa ocasionada por *T. versicolor* en cuatro especies de *Pinus* en la región de El Salto, Durango, México. En su estudio, se reportaron pérdidas del 2.06 % para *P. duranguensis* Martínez, 1.07 % para *P. teocote* Schiede, 2.74 % para *P. strobiformis* Engelm. y 18.30 % para *P. cooperi* C.E. Blanco. En comparación con el presente trabajo, los valores obtenidos por Cruz *et al.* (2018) son, en su mayoría, menores, con excepción de *P. cooperi*, cuya pérdida de masa presenta una mayor similitud con la media registrada en la Plantación A de este estudio.

De manera similar, Encinas y Molina (2007) evaluaron la degradación de madera de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* por parte de *G. trabeum* y *T. versicolor*, reportando pérdidas de masa de 35.46 % y 20.15 %, respectivamente, en madera proveniente de plantaciones de la Estación Experimental del Instituto Rural El Libertador, en Venezuela. Aunque los valores obtenidos en el presente estudio son menores, particularmente en la Plantación A, se encuentran dentro de un rango comparable.

La comparación con otras investigaciones sugiere que la madera evaluada en este experimento, particularmente la proveniente de la Plantación A (7 años), presenta un comportamiento acorde con lo reportado para otras especies y regiones.

4.2 Determinación de la durabilidad natural

Según los criterios establecidos por la norma ASTM D 2017, *P. greggii* fue clasificado como moderadamente resistente frente al ataque de *G. trabeum* y resistente frente a *T. versicolor*, en ambas plantaciones (A y B), como se muestra en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Durabilidad natural de la madera de *Pinus greggii* de dos plantaciones provenientes del estado de Durango, México, sometidas a dos tratamientos de pudrición.

Plantación A	Pérdida de peso (%)	Peso residual promedio (%)	Clase indicada o resistencia a hongo de prueba específico
<i>Gloeophyllum trabeum</i>	32.44±16.65	67.56±16.65	Moderadamente resistente
<i>Trametes versicolor</i>	18.57±6.52	81.43±6.52	Resistente
Plantación B	Pérdida de peso (%)	Peso residual promedio (%)	Clase indicada o resistencia a hongo de prueba específico
<i>Gloeophyllum trabeum</i>	25.98±6.89	74.02±6.89	Moderadamente resistente
<i>Trametes versicolor</i>	15.28±5.06	84.72±5.06	Resistente

Tabla construida con los datos del presente estudio, los rangos para cada clase se explican en el Cuadro 1.

La capacidad de colonización y degradación de los hongos está influenciada tanto por la composición de la madera como por las estrategias enzimáticas propias de cada organismo. Los hongos de pudrición blanca, como *T. versicolor*, tienden a preferir maderas latifoliadas debido a su habilidad para descomponer eficientemente el tipo de lignina presente en estas especies. Por otro lado, *G. trabeum*, agente causante de pudrición parda, ataca principalmente los componentes celulósicos y hemicelulósicos, siendo por ello más agresivo en maderas de coníferas (Eaton y Hale, 1993).

La resistencia observada en *P. greggii*, frente a *T. versicolor*, podría estar relacionada con una menor afinidad del hongo hacia la composición lignocelulósica de esta especie. En cambio, la clasificación como moderadamente resistente frente a *G. trabeum* es consistente con la naturaleza de esta especie como conífera, y sugiere que, aunque susceptible, *P. greggii* posee mecanismos o características estructurales que limitan la acción degradativa del hongo en cierto grado.

4.3 Comparación entre plantaciones

4.3.1 Tratamiento con *Gloeophyllum trabeum*

Se observa en la Figura 1, una diferencia de 6.45% entre las plantaciones, con una mayor pérdida de peso en la Plantación A.

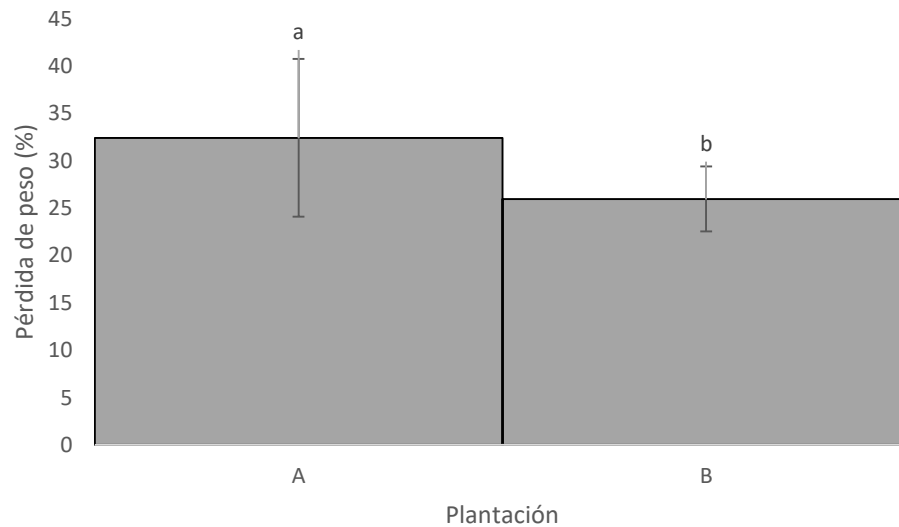


Figura 1. Comparación de medias de pérdida de peso porcentual del tratamiento con *Gloeophyllum trabeum* en plantación A y B, en madera de *Pinus greggii* de Durango, México.

Se determinó la diferencia estadísticamente significativa entre ambas condiciones mediante el estadístico de t , obteniéndose un valor de $t(19) = 2.1673$, con un valor $P = 0.0431$, como se observa en el Cuadro 4.

Cuadro 4. Prueba de t para comparación con *Gloeophyllum trabeum* entre plantación A y B, en madera de *Pinus greggii* de Durango, México.

	Media	Varianza	gl	t	P
Plantación A	32.4351	277.2115	19	2.1673	0.0431
Plantación B	25.9816	47.4513			

Dado que el valor P es menor que el nivel de significancia establecido ($\alpha = 0.05$), se rechaza la hipótesis nula que planteaba que no existía diferencia significativa entre ambas plantaciones.

4.3.2 Tratamiento con *Trametes versicolor*

En la Figura 2, se aprecia una diferencia de 3.29% entre las plantaciones, con una menor pérdida de peso en la Plantación B.

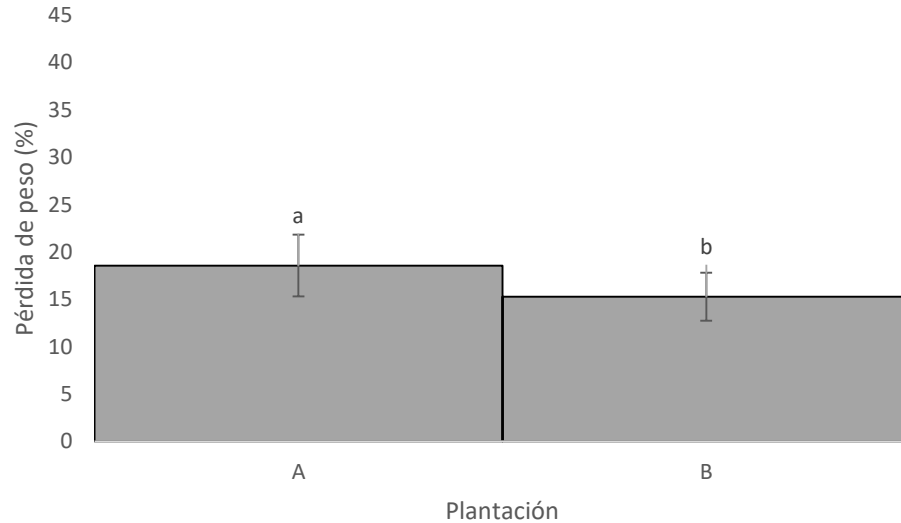


Figura 2. Comparación de medias de pérdida de peso porcentual del tratamiento con *Trametes versicolor* en plantación A y B en madera de *Pinus greggii* de Durango, México.

Se determinó la diferencia estadísticamente significativa entre ambas condiciones mediante el estadístico de t , obteniéndose un valor de $t(19) = 2.3475$, con un valor $P = 0.0299$, como se observa en el Cuadro 5.

Cuadro 5. Prueba de t para comparación con *Trametes versicolor* entre plantación A y B en madera de *Pinus greggii* de Durango, México.

	Media	Varianza	gl	t	P
Plantación A	18.5719	42.5039	19	2.3475	0.0299
Plantación B	15.2805	25.6323			

Dado que el valor P es menor que el nivel de significancia establecido ($\alpha = 0.05$), se rechaza la hipótesis nula que planteaba que no existía diferencia significativa entre ambas plantaciones.

Los resultados obtenidos demuestran que existen diferencias estadísticamente significativas en la pérdida de peso causada por los hongos *G. trabeum* y *T. versicolor* entre las dos plantaciones de *P. greggii* ubicadas en Durango, México. Tanto en el tratamiento con *G. trabeum*, como en el de *T. versicolor*, la Plantación A fue la más afectada. En ambos casos, el valor de *P* fue menor al nivel de significancia ($\alpha= 0.05$), lo que llevó al rechazo de la hipótesis nula que proponía ausencia de diferencias significativas.

Estos hallazgos apuntan a una variabilidad significativa en la resistencia natural de la madera frente a agentes xilófagos, posiblemente influenciada por las condiciones particulares de cada plantación, como la edad del arbolado, el microclima, el manejo silvícola y el tipo de sitio. En afinidad con esto, Mendoza (2023) evaluó doce propiedades físicas de la madera de *Pinus greggii* en estas mismas plantaciones, detectando diferencias altamente significativas en ocho de ellas, entre las que se incluyen densidad básica, punto de saturación de la fibra y coeficientes de contracción. Estas diferencias físicas pueden tener un impacto directo en la respuesta de la madera a la descomposición fúngica, ya que influyen en la porosidad, el contenido de humedad y la cantidad de extractivos protectores presentes (Rudman y Da Costa, 1966; Juacida y Liese, 1980).

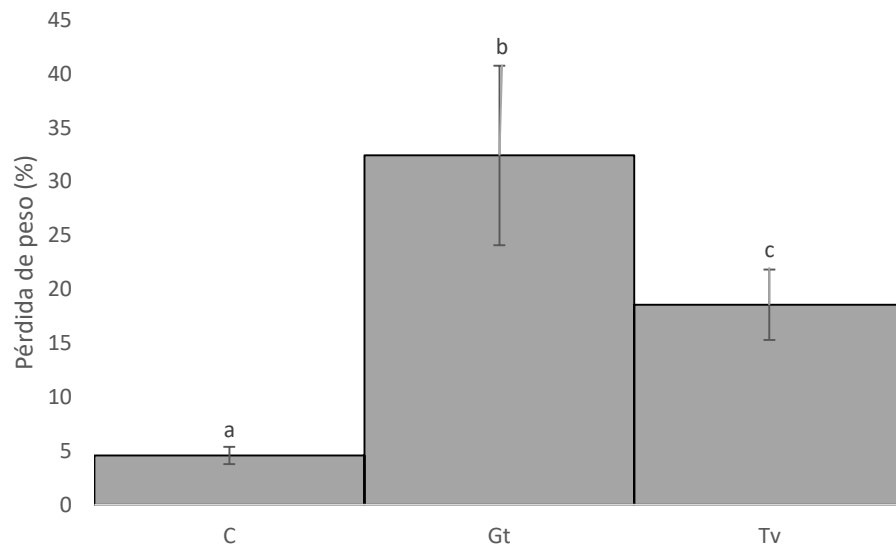
La literatura sugiere que la resistencia natural a la pudrición puede variar en cualquier especie, no sólo entre los árboles, sino también al interior del mismo dependiendo del entorno de crecimiento. Las maderas más densas y con mayor proporción de extractivos tienden a ser más resistentes a la acción de hongos degradadores. Igualmente, puede disminuir desde la base hacia el ápice del fuste, o aumentar con la edad y diámetro del árbol. (Scheffer y Morrell, 1998).

En este sentido, la mayor pérdida de peso en la Plantación A (7 años) podría estar asociada a la posible presencia de madera juvenil (Mendoza, 2023), lo que la hace más susceptible a la degradación.

4.4 Comparación entre tratamientos

4.4.1 Plantación A

En la Figura 3, se observa una diferencia de pérdida de peso del 25.44% entre *G. trabeum* y de 11.57% para *T. versicolor* con respecto al control, mientras que, entre ambos hongos, hay una diferencia de 13.87%.



C= Tratamiento control, Gt= *Gloeophyllum trabeum*, Tv= *Trametes versicolor*.

Figura 3. Comparación de medias de pérdida de peso porcentual de los tratamientos para la plantación A, en madera de *Pinus greggii* de Durango, México.

Se determinó la diferencia estadísticamente significativa entre ambas condiciones mediante el estadístico de t , obteniéndose un valor de $t(19) = 3.6411$, con un valor $P = 0.0017$, como se observa en el Cuadro 6.

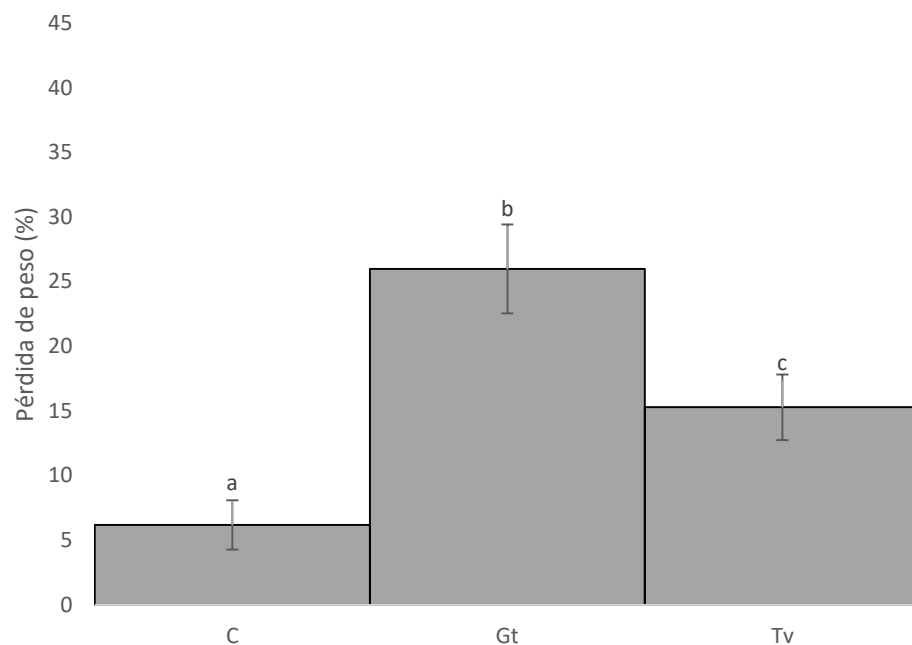
Cuadro 6. Prueba de t para comparación con plantación A y dos tratamientos de pudrición en madera de *Pinus greggii* de Durango, México.

	Media	Varianza	gl	t	P
<i>Gloeophyllum trabeum</i>	32.4351	277.2115	19	3.6411	0.0017
<i>Trametes versicolor</i>	18.5719	42.5039			

Dado que el valor P es menor que el nivel de significancia establecido ($\alpha = 0.05$), se rechaza la hipótesis nula que planteaba que no existía diferencia significativa entre ambos tratamientos de pudrición.

4.4.2 Plantación B

En la Figura 4, se observa una diferencia de pérdida de peso del 17.61% entre *G. trabeum* y de 6.91% para *T. versicolor* con respecto al control, mientras que, entre ambos hongos, hay una diferencia del 10.7%.



C= Tratamiento control, Gt= *Gloeophyllum trabeum*, Tv= *Trametes versicolor*.

Figura 4. Comparación de medias de pérdida de peso porcentual de los tratamientos para la plantación B, en madera de *Pinus greggii* de Durango, México.

Se determinó la diferencia estadísticamente significativa entre ambas condiciones mediante el estadístico de t , obteniéndose un valor de $t(19) = 7.6844$, con un valor $P = 3.03E-07$, como se observa en el Cuadro 7.

Cuadro 7. Prueba de t para comparación con plantación B y dos tratamientos de pudrición en madera de *Pinus greggii* de Durango, México.

	Media	Varianza	gl	t	P
<i>Gloeophyllum trabeum</i>	25.9816	47.4513	19	7.6844	3.03E-07
<i>Trametes versicolor</i>	15.2805	25.6323			

Dado que el valor P es menor que el nivel de significancia establecido ($\alpha = 0.05$), se rechaza la hipótesis nula que planteaba que no existía diferencia significativa entre ambos tratamientos de pudrición.

Los resultados obtenidos sugieren que existe una diferencia altamente significativa entre los tratamientos de pudrición en ambas plantaciones evaluadas.

La plantación A (7 años) presentó una mayor pérdida de peso promedio con ambos hongos, lo cual sugiere una mayor exposición a la degradación fúngica, posiblemente asociada con una menor densidad y resistencia a la humedad debido a su edad. Por otro lado, la plantación B (11 años) mostró una diferencia más marcada entre los efectos de ambos hongos, con menor variabilidad en sus resultados, lo que podría atribuirse a una mayor homogeneidad estructural en la madera.

En cuanto al comportamiento de los agentes degradadores, se observó que los hongos de pudrición parda representan una amenaza severa para la durabilidad estructural de la madera. Este tipo de pudrición afecta principalmente la composición química de la madera, degradando componentes como la celulosa y la hemicelulosa, lo cual genera una pérdida acelerada de propiedades mecánicas, incluso antes de que se presenten signos visibles de deterioro o pérdida de masa (Clausen y Kartal, 2003). Por ejemplo, en estudios con madera de *Pinus radiata* D. Don infectada por pudrición parda, se reportaron reducciones del 69.43 al 89.38%

en el módulo de ruptura en compresión paralela, y una disminución del 65% en el módulo de elasticidad aparente, al compararla con madera sana. Este deterioro, aunque no siempre evidente a simple vista, puede derivar en fallos estructurales súbitos, por lo que debe considerarse como una señal crítica de degradación estructural (Chica y Maldonado, 2023).

Por el contrario, los hongos de pudrición blanca mostraron un nivel de agresividad menor en maderas de coníferas como los pinos, aunque su efecto puede ser más pronunciado en especies latifoliadas (Pinzón-Picaseño y Véliz, 1984).

En un estudio realizado en San Alberto, Oxapampa, se evaluó la durabilidad natural de *P. oocarpa* y *P. tecunumanii* frente a este tipo de hongo, clasificándose como “Resistente” y “Moderadamente resistente” respectivamente, bajo la norma ASTM D 2017 (Claros, 2017). En el presente estudio, la madera de *P. greggii* se clasificó como resistente frente a la pudrición blanca, lo que sugiere un comportamiento similar al de *P. oocarpa* y superior al de *P. tecunumanii*. Esta resistencia relativa resalta el potencial de *P. greggii* como especie adecuada para aplicaciones que requieren mayor durabilidad frente a hongos degradadores en condiciones donde la pudrición blanca es prevalente.

4.5 Análisis de Correlación

En los siguientes cuadros se presentan los valores de r , correspondientes al coeficiente de correlación, obtenidas entre pares de variables. Los resultados obtenidos indican que no existe una relación significativa entre las variables x_1 (número de anillos), x_2 (proporción de madera tardía) y la variable y (porcentaje de pérdida de peso), para ninguno de los tratamientos en ambas plantaciones.

4.5.1 Plantación A

A continuación, se presentan los valores de correlación entre las variables evaluadas, las cuales sugieren una correlación muy débil y no significativa al estar tan cercanas a cero, como se muestra en el Cuadro 8.

Cuadro 8. Grado de asociación entre las variables para el tratamiento con *Gloeophyllum trabeum* para una plantación de 7 años en el estado de Durango, México.

	x_1	x_2	y
x_1	1		
x_2	0.2267	1	
y	0.2786	0.2642	1

x_1 =Número de anillos por probeta, x_2 =Proporción de madera tardía, y = Porcentaje de pérdida de peso. Los valores corresponden a r

En el Cuadro 9, se presentan los valores de correlación entre las variables evaluadas, para *T. versicolor*, las cuales sugieren una correlación muy débil y no significativa al estar cercanas a cero.

Cuadro 9. Grado de asociación entre las variables para el tratamiento con *Trametes versicolor* para una plantación de 7 años en el estado de Durango, México.

	x_1	x_2	y
x_1	1		
x_2	0.2267	1	
y	0.2839	0.0265	1

x_1 =Número de anillos por probeta, x_2 =Proporción de madera tardía, y = Porcentaje de pérdida de peso. Los valores corresponden a r .

4.5.2 Plantación B

A continuación, se presentan los valores de correlación entre las variables evaluadas para esta plantación, las cuales sugieren una correlación muy débil y no significativa al estar cercanas a cero, tal como se muestra en el Cuadro 10.

Cuadro 10. Grado de asociación entre las variables para el tratamiento con *Gloeophyllum trabeum* para una plantación de 11 años en el estado de Durango, México.

	x_1	x_2	y
x_1	1		
x_2	0.6935	1	
y	0.0089	0.0520	1

x_1 =Número de anillos por probeta, x_2 =Proporción de madera tardía, y = Porcentaje de pérdida de peso. Los valores corresponden a r .

En el Cuadro 11, se presentan los valores de correlación entre las variables evaluadas, para *T. versicolor*, las cuales sugieren una correlación muy débil y no significativa al estar cercanas a cero.

Cuadro 11. Grado de asociación entre las variables para el tratamiento con *Trametes versicolor* para una plantación de 11 años, en el estado de Durango, México.

	x_1	x_2	y
x_1	1		
x_2	0.6935	1	
y	0.1261	0.4236	1

x_1 =Número de anillos por probeta, x_2 =Proporción de madera tardía, y = Porcentaje de pérdida de peso. Los valores corresponden a r .

Esta falta de correlación podría atribuirse, en parte, a la homogeneidad del material estudiado. Al provenir de plantaciones de *Pinus greggii* con edades relativamente cercanas (7 y 11 años), y establecidas bajo condiciones de sitio similares, las variaciones en las características anatómicas, físicas y mecánicas de la madera podrían ser mínimas, lo que reduce la variabilidad necesaria para que se establezcan correlaciones estadísticas sólidas.

Estudios previos, como el de Juacida *et al.* (2000), han demostrado que existen fuertes relaciones entre la densidad de la madera y propiedades mecánicas; incluyendo el límite proporcional a la tracción, el módulo de ruptura (MOR) y el módulo de elasticidad (MOE) en flexión; la resistencia máxima en compresión tanto

paralela como perpendicular a las fibras; la resistencia a la tracción normal, el esfuerzo cortante paralelo a las fibras, así como clivaje y dureza Janka.

Del mismo modo, Rozas *et al.* (2007) encontraron que la densidad nominal y el tipo de madera son variables predictivas importantes para propiedades como la dureza, MOR y MOE. Sin embargo, en el presente estudio no se incluyó la densidad como variable correlacional, lo que podría limitar la posibilidad de detectar relaciones significativas con la pérdida de peso.

En su estudio, Jopia (2000), efectuó un análisis factorial con el propósito de reducir la cantidad de variables observadas y facilitar la caracterización de las propiedades mecánicas de la madera de *Pinus radiata* D. Don procedente de Mulchén. Los resultados indicaron que dicha caracterización debe considerar un factor asociado a las propiedades mecánicas, la densidad y el tipo de madera, así como otro factor vinculado a la edad de la madera.

Por lo que, de acuerdo a los resultados del presente trabajo, sería recomendable el continuar con estudios similares a mayor edad de las plantaciones de *P. greggii* en las localidades muestreadas.

5 CONCLUSIONES

Tanto el objetivo general como los objetivos específicos del estudio fueron alcanzados. Con base en la norma ASTM D 2017, se determinó la durabilidad natural de *Pinus greggii*, clasificándola como Moderadamente resistente frente al hongo de pudrición parda y como Resistente frente al hongo de pudrición blanca, en ambas plantaciones evaluadas, ubicadas en el estado de Durango, México.

Se determinó que existen diferencias estadísticas significativas en los porcentajes de pérdida de peso entre las dos plantaciones evaluadas, tanto para el hongo *Gloeophyllum trabeum* (pudrición parda) como para *Trametes versicolor* (pudrición blanca). En ambos casos, los valores P obtenidos fueron inferiores al nivel de significancia establecido ($\alpha = 0.05$), lo que llevó al rechazo de la hipótesis nula que planteaba la inexistencia de diferencias significativas.

De igual manera, los análisis realizados permiten establecer que existen diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos de pudrición fúngica aplicados dentro de cada plantación, rechazando la hipótesis nula con un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$.

Los valores del coeficiente de correlación (r) obtenidos entre las variables número de anillos (x_1), proporción de madera tardía (x_2) y porcentaje de pérdida de peso (y) indican que no existe una relación significativa entre estas variables en ninguno de los tratamientos ni en ambas plantaciones evaluadas. La cercanía de los coeficientes a cero sugiere una correlación muy débil o inexistente, lo que implica ni la cantidad de anillos por probeta, ni la proporción de madera tardía en las mismas, tienen un efecto estadísticamente detectable sobre la pérdida de masa ocasionada por la degradación fúngica en este estudio.

6 LITERATURA CITADA

Akhtar, M. B. (1998). Fungal delignification and biomechanical pulping of wood. *Advances in Biochemical Engineering/Biotechnology* (Vol. 57). Springer.

ASTM D 2017 -05. (2005.). Standard Test Method of Accelerated Laboratory Test of Natural Decay Resistance of Woods. U.S.A.

ASTM D 4442-97. (1997). Standard Test Methods for Direct Moisture Content Measurement of Wood and Wood-Based Materials.

ASTM D 9- 87. (Reapproved 1999). Standard Terminology Relating to Wood. U.S.A.

Bobadilla, E. A. (2004). Durabilidad natural de la madera de cinco especies aptas para la industria de la construcción.

Bobadilla, E. A., Pereyra, O., Silva, F., & Stehr, A. M. (2005). Durabilidad natural de la madera de dos especies aptas para la industria de la construcción. *FLORESTA*, 35 (3).

Buswell, J. A. (1990). Fungal Degradation of lignin. Handbook of Applied *Mycology* (Vol. 1: Soil and Plants). Marcel Dekker Inc.

Carmona, M. M. (2021). Durabilidad de la madera de cuatro especies forestales, en Tetela de Ocampo, Puebla. [Tesis Profesional. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla].

Chica, U. D., & Maldonado, N. J. (2023). Variación de las propiedades físico mecánicas de elementos de madera *Pinus radiata* D. Don con presencia de pudrición castaña en la ciudad de Cuenca. *ConcienciaDigital*, 6(4.1), 26-48.

Claros, C. J., Baltazar, C. H., Trujillo, C. F., & Araujo, F. M. (2017). Durabilidad natural de la madera de *Pinus oocarpa* y *Pinus tecunumanii*, proveniente de plantaciones forestales en San Alberto, Oxapampa. *Revista Forestal del Perú*, 32(2), 70-77.

Clausen, C., & Kartal, S. (2003). Accelerated detection of brown-rot decay: Comparison of soil block test, chemical analysis, mechanical properties, and immunodetection. . *Forest Product Journal*, 90-94.

Coulson R. N., J. A. (1998). Fungología Forestal: *ecología y control*. México: Limusa.

Coulson, R. N., & Witter, J. A. (1990). Entomología Forestal. *Ecología y Control, Traducción*. México: Limusa.

Cruz Carrera, R. D., Carrillo Parra, A., Nájera Luna, J. A., Cruz Cobos, F., Hernández, F. J., & Méndez González, J. (2018). Durabilidad natural de la madera de siete especies forestales de El Salto, Durango. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 9(46), 102-130.

Cruz de León, J. (2010). Manual para la protección contra el deterioro de la madera. *Comisión Nacional Forestal*.

Eaton, R., & Hale, M. (1993). Wood: Decay, pests and protection. London: Chapman & Hall.

Eguiluz, P. T. (1978). *Ensayo de integración de los conocimientos sobre el género Pinus en México. Tesis Profesional*. Edo de México, México: Universidad Autónoma Chapingo.

Encinas, O., & Molina, Y. (2007). Mejora de la Durabilidad de la Madera Pino Caribe Mediante Acetilación. *Revista Forestal Latinoamericana*, 41, 15-36.

Fengel, D., & Weneger, G. (1984). *Wood chemistry, ultrastructure reactions*,. Berlín: Walter de Gruyter.

I.P.T. (1986). Manual de Preservación de Maderas. Instituto de Pesquisas Tecnológicas de Estado de Sao Paulo. Brasil.

Jopia, H. (2000). Modelamiento Estadístico para Determinar Algunas Propiedades Mecánicas de la Madera de *Pinus radiata* D. Don. Chile: Universidad del Bío – Bío.

Juacida, P. R., & Liese, W. (1980). Durabilidad natural de maderas frente al ataque de hongos. *Bosque*, 3(2), 77-85.

Juacida, R., Cuevas, H., & Saldívar, E. (2000). Populus x euroamericana (Dode) Guinier: Aserrío, Secado y Propiedades Mecánicas. *Maderas: Ciencia y Tecnología*, 2(2), 185-195.

Kubicek, C. P. (2012). Fungi and lignocellulosic biomass. New York: John Wiley & Sons.

Lopez, U. J., & Muñoz, O. A. (1991). Selección familiar por tolerancia a sequía en *Pinus greggii* Engelm. I. Evaluación en plántula. *Agrociencia*, 2(2), 111-123.

Mendoza, S. W. (2023). Propiedades físicas de la madera de *Pinus greggii* Engelm. provenientes de plantaciones forestales comerciales en dos localidades de Durango. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

Moore, D. S., McCabe, G. P., & Craig, B. A. (2014). Introduction to the practice of statistics. W. H. Freeman and Company.

Nutsch, W. (1996). Tecnología de la madera y del mueble. Reverté.

Peraza-Sánchez, F. (2001). Protección preventiva de la madera. Madrid: AITIM.

Pinzón-Picaseño, L. M., & Véliz, A. F. (1984). Tipo de pudrición y agresividad hacia la madera en cuatro cepas de hongos xilófagos mexicanos. *Scientia Fungorum*, 2(19), 65-72.

Ramírez- Herrera, C., Vargas-Hernández, J., & López-Upton, J. (2005). Distribución y conservación de las poblaciones naturales de *Pinus greggii*. *Acta Botanica Mexicana*(72), 1-16.

Rodríguez Barreal, J. A. (1998). Tratado de rehabilitación, Departamento de construcción y tecnología arquitectónicas. Universidad Politécnica de Madrid.

Rozas, C., Vargas, G. M., & Anzaldo, H. J. (2007). Estimación y predicción de las propiedades mecánicas en *Pinus radiata* D. Don de 30 años de edad mediante regresión múltiple. *Floresta*, 37(1), 21-29.

Rudman, P., & Da Costa, B. W. (1966). Causes of variations in the natural durability of wood. Inherent factors and ageing and their effects on resistance to biological . *Material und Organismen*, 151-162.

Salazar Garcia, J. G., Vargas Hernandez, J., Jasso Mata, J., Molina Galán, J., Ramirerz Herrera, C., & López Upton, J. (2016). Variación en el patrón de crecimiento en altura de cuatro especies de *Pinus* en edades tempranas. *Madera Y Bosques*, 5(2), 19-34.

Santa Regina, I. R. (2003). Paseos micológicos salmantinos II. Salamanca: Caja Duero.

Scheffer, T. C., & Morrell, J. J. (1998). Natural Durability of Wood : A Worldwide Checklist . Forest Research Laboratory Oregon State University.

Taylor, R. (1990). Interpretation of the Correlation Coefficient: A Basic Review. *Journal of Diagnostic Medical Sonography*, 6(1), 35-39.

Vásquez, P. J. (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*. Perú: Universidad Nacional Agraria de la Selva .

Zabel, R. A., & Morrell, J. J. (1992). Wood Microbiology: Decay and Prevention. San Diego: Academic Press.