

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES



**EFFECTO DE LA INFESTACIÓN DE MUÉRDAGO EN EL
CRECIMIENTO RADIAL DE UN BOSQUE DE PINO EN EL
CERRO EL POTOSÍ, GALEANA**

POR:

ING. JAIRO ALBERTO LEAL GÓMEZ

Como requisito parcial para obtener el grado de
MAESTRÍA EN CIENCIAS FORESTALES

Diciembre, 2024

**EFFECTO DE LA INFESTACIÓN DE MUÉRDAGO EN EL
CRECIMIENTO RADIAL DE UN BOSQUE DE PINO EN EL
CERRO EL POTOSÍ, GALEANA**

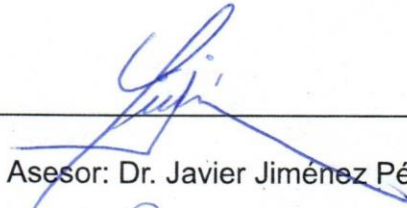
Aprobación de Tesis



Director: Dr. Marco Aurelio González Tagle



Asesor: Dra. Wibke Himmelsbach



Asesor: Dr. Javier Jiménez Pérez



Asesor externo: Dr. Marcos González Cásares

Diciembre, 2024

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT), por la beca (1268550) otorgada que hizo posible la realización de mis estudios de posgrado en la Maestría en Ciencias Forestales, así como el desarrollo y difusión de mi investigación en diversos congresos durante mi estancia en el programa.

A la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma de Nuevo León y a su cuerpo de profesores-investigadores, por compartir sus conocimientos y contribuir a mi formación académica y profesional.

Al Dr. Marco Aurelio González Tagle, director de mi comité de tesis, por su invaluable guía, apoyo profesional, observaciones, consejos, y la oportunidad de utilizar el Laboratorio de Dendrocronología para llevar a cabo mi investigación. Gracias por confiar en mí, por apoyarme en trabajos, congresos y actividades, por animarme a superar mis límites y, sobre todo, por su valiosa amistad.

A la Dra. Wibke Himmelsbach, por su apoyo en el desarrollo de mi investigación, por acompañarme en el trabajo de campo para la recolección de muestras y por facilitar herramientas y materiales del Laboratorio de Anatomía y Tecnología de la Madera. Agradezco profundamente su confianza y amistad durante estos años.

Al Dr. Javier Jiménez Pérez, por aceptar formar parte de mi comité de tesis y por sus acertadas observaciones y sugerencias, que enriquecieron el desarrollo de mi investigación.

Al Dr. Marcos González Cásares, por su participación como asesor externo, así como por tu amistad, enseñanza y apoyo en la medición de muestras y el análisis estadístico. Gracias por atenderme siempre que lo necesité.

A los técnicos de laboratorio Guadalupe Pérez y Alejandro Chávez, por su ayuda en el procesamiento de mis muestras de campo. También, mi

agradecimiento al personal administrativo y de posgrado, por estar pendiente de cada detalle.

A mis compañeros de maestría, el Ing. Luis Toribio, el Ing. Jonathan Mata y la Biol. Angélica Torres, por su amistad, apoyo y compañerismo durante estos dos años.

A mis padres, mi hermana y mis primos, por su incondicional apoyo que me permitió continuar mis estudios y seguir avanzando en mi desarrollo académico y profesional.

A mi novia, Kenny Rincón, por su amor y apoyo constante durante este trayecto, y por permanecer siempre a mi lado.

A todos, ¡muchas gracias!

DEDICATORIAS

A Jehová Dios, por darme la vida, la salud y la fortaleza para llevar a cabo y culminar este importante paso en mi vida académica.

A mis padres, Candelario Leal Támez y Zoila Nohemí Gómez Garza, por su amor incondicional, su apoyo constante y por ser mi mayor motivación para seguir preparándome.

A mi hermana, Stephanie Nohemí Leal Gómez, por estar siempre a mi lado y brindarme su apoyo en este camino.

A mi primo hermano, José Olegario Rodríguez Gómez, por tus consejos y respaldo en los momentos en que más los necesité.

A mi novia, Kenny Margarita Rincón López, por entrar a mi vida, llenarla de amor y apoyarme incondicionalmente en cada meta que me propongo.

Al mejor amigo que tuve en estos últimos años y que partió de mi lado, mi Guayabo.

A toda mi familia y amigos, por ser parte de este trayecto y por su apoyo de tantas formas.

Con cariño y gratitud.

ÍNDICE DE CONTENIDO

RESUMEN	10
ABSTRACT	11
1. INTRODUCCIÓN	12
1.1. Antecedentes	13
2. JUSTIFICACIÓN	14
3. HIPÓTESIS	15
4. OBJETIVOS	15
4.1. Objetivo general	15
4.2. Objetivos particulares	15
5. MATERIALES Y MÉTODOS	16
5.1. Localización del área de estudio	16
5.2. Descripción del área de estudio	17
5.2.1. Tipo de vegetación	17
5.2.2. Edafología	17
5.2.3. Hidrología	18
5.2.4. Clima	18
5.3. Materiales	19
5.4. Metodología	20
5.4.1. Inventario forestal y colecta de muestras	20
5.4.2. Preparación de muestras	23
5.4.3. Medición de muestras	26
5.4.4. Análisis de las muestras	28
6. RESULTADOS	29
6.1. Inventario forestal	29
6.2. Historial de infestaciones	31
6.3. Validación por COFECHA	33
6.4. Incrementos de Área Basal (IAB)	34
6.5. Análisis estadístico	36
7. DISCUSIÓN	38
8. CONCLUSIONES	42
9. BIBLIOGRAFÍA	43

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de localización del área de estudio.	16
Figura 2. Vegetación de bosque de pino en el Cerro El Potosí, Galeana. ...	17
Figura 3. Climograma 1981 – 2020 Estación Meteorológica Ejido Dieciocho de Marzo, Galeana (Elaboración propia con datos de Servicio Meteorológico Nacional, 2024).....	18
Figura 4. Taladro de Pressler tipo Haglöf.	19
Figura 5. Presencia de muérdago en rodal con mayor densidad.....	20
Figura 6. Ejemplo de una evaluación de 6 clases de Hawksworth (1977) modificado por J. Leal (2024).....	21
Figura 7. a) Perforación de arbolado con Taladro de Pressler, b) Extracción de núcleo de crecimiento.	22
Figura 8. Madera de compresión y tensión en un corte transversal (Tomado de González Juan, 2019).....	22
Figura 9. Colecta de ramas infestadas por muérdago (<i>Arceuthobium vaginatum</i>) en los rodales del Cerro El Potosí (Agosto de 2023).....	23
Figura 10. Procedimiento estandarizado para el a) Montaje y pegado del núcleo de crecimiento, b) Identificación de muestra, c) Cinta de papel para ajustar las muestras.	24
Figura 11. a) Lijado inicial con lijadora de banda con granulado de 120, b) Lijado manual con granulado de 200 a 1200.	24
Figura 12. a) Rama infectada con muérdago, b) Cortes transversales de secciones de ramas infectadas.....	25
Figura 13. Prefechado visual de las muestras. Un punto se refiere al inicio de una década, dos puntos para cincuenta años y tres puntos para cien años.	25
Figura 14. a) Estereomicroscopio AmScope (TMSM-4TPZ-B) con platina VELMEX® y micrómetro conectado a una computadora ejecutando el software MeasureJ2X, b) Medición de muestras.....	26
Figura 15. Izquierda: cortes transversales de ramas afectadas. Derecha: conteo de anillos con abultamiento para determinar el año de infestación...	27

Figura 16. Pantalla de software COFECHA.	27
Figura 17. Paquetería dlpR (Dendrochronology Library Program in R).....	28
Figura 18. Rodal 1; a) número de individuos muestreados por categoría de infestación y distribución de b) diámetros y c) alturas.....	29
Figura 19. Rodal 2; a) número de individuos muestreados por categoría de infestación y distribución de b) diámetros y c) alturas.....	30
Figura 20. Representación gráfica del abultamiento y deformación de anillos de crecimiento en una rama infestada por muérdago en el año 2013.	31
Figura 21. IAB promedio por nivel de infestación en el Rodal 1.....	34
Figura 22. IAB promedio por nivel de infestación en el Rodal 2.....	35

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación de niveles de infestación por muérdago.....	22
Tabla 2. Reconstrucción del historial de infestación: años de infección identificados para cada nivel de infestación y rodal.....	32
Tabla 3. Resumen del control de calidad y verificación de la datación de los anillos de crecimiento.....	33
Tabla 4. Resultados de valor de significancia de las pruebas estadísticas...	36
Tabla 5. Valores de significancia de la comparación por pares de Wilcoxon.	36

RESUMEN

Las plantas parásitas, como el muérdago enano (*Arceuthobium vaginatum* (Willd.) Presl subsp. *vaginatum*), impactan negativamente los bosques de coníferas, reduciendo su productividad y causando pérdidas económicas y ecológicas. Este estudio evaluó el impacto del muérdago enano en el Incremento de Área Basal (IAB) de *Pinus hartwegii* Lindl. en función del nivel y tiempo de infestación. El área de estudio, ubicada en el Cerro El Potosí, municipio de Galeana, Nuevo León, comprende dos rodales: uno con mayor densidad de árboles (Rodal 1) y otro con menor (Rodal 2). Se seleccionaron individuos sanos e infestados de cada nivel (leve, moderado y severo) determinados mediante el sistema de seis clases propuesto por Hawksworth (1977). Para calcular el IAB, se colectaron 43 núcleos de crecimiento en el Rodal 1 y 12 núcleos en el Rodal 2. Además, se cortaron ramas infestadas para datar deformaciones y abultamientos (Scharpf y Parmeter, 1966) y reconstruir el historial de infestación. En ambos rodales, los árboles infestados por muérdago presentaron diámetros y alturas mayores en comparación con los sanos. Las infecciones más antiguas datan de 2011 en el Rodal 1 y de 2013 en el Rodal 2. Aunque los árboles infestados mostraron un mayor IAB antes y después del año de infestación, especialmente tras la sequía de 2011, y se presentaron diferencias significativas frente a los sanos, en los últimos años este crecimiento se igualó. Además, no se identificaron diferencias significativas en el IAB respecto al tiempo de infestación, sugiriendo que la infestación aún no ha tenido un impacto considerable en el crecimiento radial. La técnica dendrocronológica aplicada en ramas afectadas por muérdago demostró ser eficaz para reconstruir el historial de infestación. Sin embargo, para una evaluación más precisa del efecto del muérdago en el crecimiento de coníferas, se recomienda monitoreos a largo plazo y considerar infestaciones más severas. Esto permitirá identificar posibles cambios en el incremento radial que podrían manifestarse en etapas avanzadas de la infestación.

ABSTRACT

Parasitic plants such as dwarf mistletoe (*Arceuthobium vaginatum* (Willd.) Presl subsp. *vaginatum*) negatively impact coniferous forests, reducing their productivity and causing economic and ecological losses. This study evaluated the impact of dwarf mistletoe on the Basal Area Increment (BAI) of *Pinus hartwegii* Lindl. as a function of infestation level and time. The study area, located in Cerro El Potosí, municipality of Galeana, Nuevo León, comprises two stands: one with a higher tree density (Stand 1) and another with a lower one (Stand 2). Healthy and infested individuals were selected from each level (low, moderate and severe) determined by the six-class system proposed by Hawksworth (1977). To calculate the IAB, 43 growth cores were collected in Stand 1 and 12 cores in Stand 2. In addition, infested branches were cut to date deformations and swellings (Scharpf and Parmeter, 1966) and to reconstruct the infestation history. In both stands, mistletoe-infested trees had larger diameters and heights compared to healthy trees. The oldest infections date back to 2011 in Stand 1 and 2013 in Stand 2. Although infested trees showed a higher IAB before and after the year of infestation, especially after the 2011 drought, and there were significant differences compared to healthy trees, in recent years this growth equalized. Furthermore, no significant differences in IAB were identified with respect to the time of infestation, suggesting that the infestation has not yet had a considerable impact on radial growth. The dendrochronological technique applied to branches affected by mistletoe proved to be effective in reconstructing the infestation history. However, for a more accurate assessment of the effect of mistletoe on conifer growth, long-term monitoring is recommended and more severe infestations should be considered. This will allow identifying possible changes in radial increment that could manifest in advanced stages of the infestation.

1. INTRODUCCIÓN

El estado de Nuevo León, ubicado en el noreste de México, tiene una superficie de 64,156.2 km² (INEGI, 2020) que alberga diversos ecosistemas forestales, entre ellos, bosques de coníferas y latifoliadas que ocupan 687,653.63 hectáreas (CONAFOR, 2023b). De acuerdo con el Sistema Nacional de Información Forestal de la CONAFOR, en 2021, Nuevo León contaba con 37,149 hectáreas destinadas al manejo forestal maderable, con un volumen autorizado de 540,249 m³ de madera (CONAFOR, 2023a).

Los bosques de Nuevo León no solo apoyan a la industria forestal al proporcionar materia prima, sino que también ofrecen importantes servicios ecosistémicos, como la captura de carbono, la captación de lluvias y la recarga de mantos acuíferos. Sin embargo, enfrentan problemas fitosanitarios causados por agentes como insectos descortezadores, epífitas y plantas parásitas, que deterioran significativamente estos ecosistemas (Sánchez Salas et al., 2007).

En México, las plantas parásitas representan el segundo agente causal de daños en los ecosistemas forestales (CONAFOR, 2024), especialmente en los bosques de coníferas, donde reducen la productividad de los árboles y disminuyen los servicios ecosistémicos que estos proporcionan (Alvarado Rosales & Saavedra Romero, 2017). De acuerdo con Vázquez Collazo et al. (2006), se estima que las pérdidas anuales superan los 2 millones de m³ de madera en volumen total árbol (VTA), sin incluir la mortalidad de árboles ni el incremento en la vulnerabilidad a otras plagas y enfermedades forestales.

Entre las plantas parásitas, el género *Arceuthobium* es uno de los más comunes y afecta principalmente los bosques de coníferas en zonas de alta montaña (Huerta Hernández, 2021). En particular, *Pinus hartwegii* Lindl. es una de las especies más impactadas, como se ha observado en el Cerro El Potosí, Galeana, Nuevo León.

1.1. Antecedentes

Los estudios sobre el impacto del muérdago en diversas especies de pino han revelado efectos negativos en el crecimiento y la salud de los árboles. En Canadá, Epp & Tardif (2004) observaron que el muérdago enano (*Arceuthobium americanum* Nut. ex Engelm.) redujo el crecimiento radial de *Pinus contorta* Dougl. ex Loud. y aumentó la mortalidad de los árboles infectados, especialmente durante sequías. En Alemania, Kollas et al. (2018) encontraron una disminución del 27% en el crecimiento basal de *P. sylvestris* L. debido al muérdago europeo (*Viscum album* L.). Por otra parte, Stanton y colaboradores (2007) concluyeron que las infestaciones por muérdago en *P. ponderosa* Douglas ex C. Lawson redujeron el diámetro de los árboles, con un impacto mayor en condiciones de sequía. Bell et al. (2020), encontraron que el muérdago enano (*A. tsugense* (Rosendahl) G.N. Jones) intensificó la mortalidad y redujo el crecimiento de *Tsuga heterophylla* (Rafin.) Sarg. en bosques maduros bajo condiciones cálidas y secas.

En México, los efectos del muérdago en especies de pino han sido escasamente documentados. Por ejemplo, Romero Tovar (2006) en Hidalgo, observó que la infestación afectó la densidad de la madera en *P. rudis* Endel. y el ancho de los anillos en *P. montezumae* Lamb. En Durango, Elizondo et al. (2018) encontraron que una infección severa redujo el volumen de *P. cooperi* C.E. Blanco en un 59%, mientras que una infestación leve aumentó el volumen en un 13%. Martínez Salvador et al. (2015), en Colima, documentaron que el muérdago redujo la altura, diámetro y volumen de *P. hartwegii* extendiendo el turno técnico maderable en 10 años. Queijeiro-Bolaños et al. (2013), en la Ciudad de México, concluyeron que el muérdago deteriora el crecimiento de *P. hartwegii* en el Área Natural Protegida Zoquiapan, recomendando prácticas de manejo preventivas. Endara-Agramont et al. (2022), en Toluca, identificaron factores como la presencia de descortezadores y la orientación del sitio que influyen en la infestación de muérdago.

2. JUSTIFICACIÓN

El estudio del muérdago en Nuevo León es fundamental debido a la falta de información actualizada sobre la distribución y el impacto de las especies del género *Arceuthobium* en la región. La información sobre la intensidad de infección de los muérdagos en las coníferas de la Sierra Madre Oriental es limitada, y los estudios previos han sido restringidos en su alcance y actualizaciones.

En particular, el estudio de Reid et al. (1987) presenta datos preliminares sobre las especies de *Arceuthobium* en el Cerro El Potosí, en Galeana, Nuevo León, donde se evaluó la distribución altitudinal y la intensidad de infección de diferentes especies de muérdago en huéspedes como *Pinus rudis* Endel., *P. ayacahuite* Ehrenb. ex Schldl., *Abies vejarii* Martínez y *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco. Los resultados indicaron una infección significativa en las especies de coníferas, pero la investigación no profundizó en los efectos a largo plazo, ni en las dinámicas ecológicas o de manejo necesarias para mitigar esta problemática. Además, no se han realizado inventarios cuantitativos que midan la abundancia y el rango de los hospedadores del muérdago en la región, lo cual es esencial para tomar decisiones informadas sobre el manejo forestal.

Por otro lado, el folleto técnico de Sánchez Salas et al. (2007) también identificó problemas fitosanitarios en los bosques de coníferas de Nuevo León, destacando las afectaciones causadas por *Arceuthobium* en especies clave como *P. hartwegii* Lindl., *P. strobiformis* Engelman, *P. pseudostrobus* Lindl., *P. arizonica* Engelm. y *Abies vejarii* en los municipios de Galeana y Santiago.

La escasez de investigaciones detalladas sobre el muérdago en Nuevo León limita la toma de decisiones en el manejo forestal. El presente estudio se enfoca en determinar la magnitud de problema que representa la infestación por muérdago en el Incremento de Área Basal (IAB) de *P. hartwegii*, así como en reconstruir el historial de infestación para evaluar su impacto.

3. HIPÓTESIS

La infestación por muérdago, en función del tiempo de infestación, tiene un impacto significativo en el Incremento de Área Basal (IAB) de *Pinus hartwegii*.

4. OBJETIVOS

4.1. Objetivo general

Evaluar el efecto del muérdago en el Incremento de Área Basal (IAB) de *P. hartwegii* en función del nivel y el tiempo de infestación.

4.2. Objetivos particulares

- Calcular el nivel de infestación por muérdago en individuos de *P. hartwegii* en dos rodales en el Cerro El Potosí.
- Determinar el año de infección en los individuos muestreados y reconstruir un historial de infestación para el área de estudio.
- Comparar y describir los IAB en función del nivel y tiempo de infestación.

5. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1. Localización del área de estudio

El área de estudio se encuentra ubicada en el Cerro El Potosí, municipio de Galeana, Nuevo León (Figura 1), en el cual se evaluaron dos rodales con presencia de muérdago, uno con mayor densidad de árboles de una superficie de 1.54 ha y otro con menor densidad de 1.30 ha. Los rodales se ubican en las coordenadas UTM 373255, 2753658 y 373362, 2753791 a una altitud media de 2950 msnm.

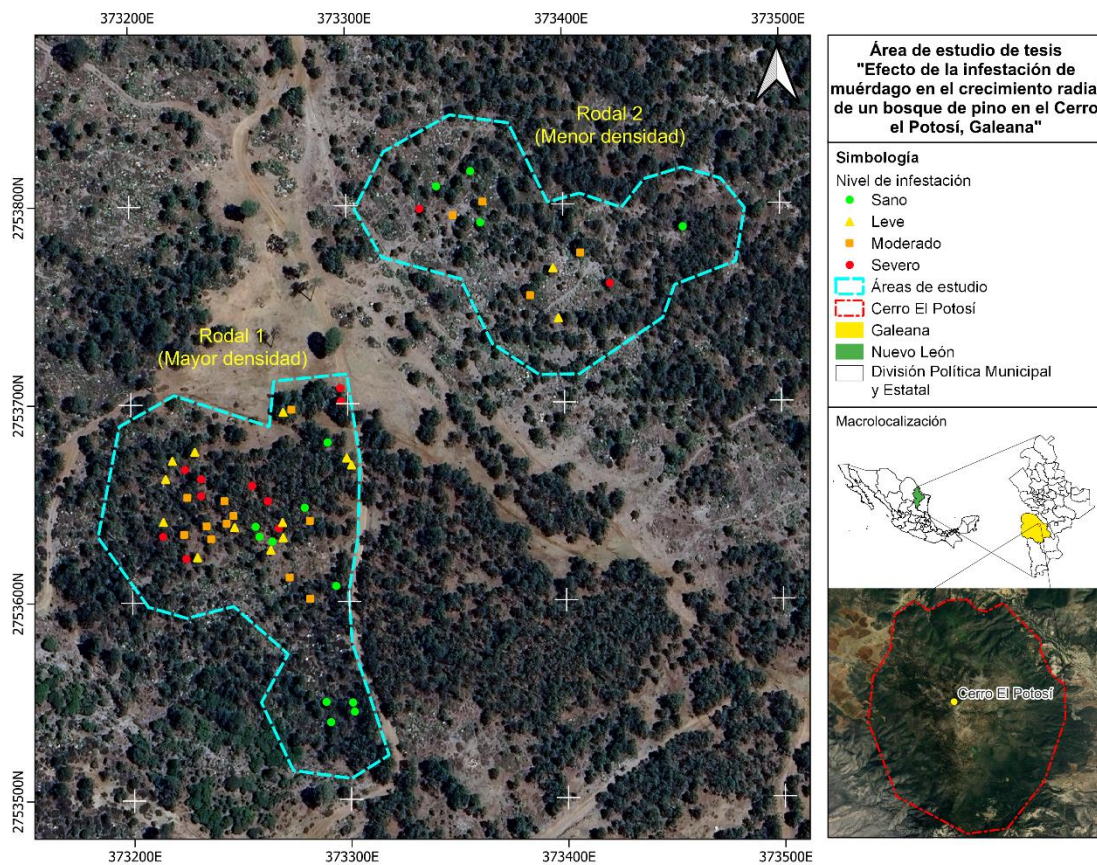


Figura 1. Mapa de localización del área de estudio.

5.2. Descripción del área de estudio

5.2.1. Tipo de vegetación

De acuerdo con la carta de Uso de Suelo y Vegetación Serie VII de INEGI (2021) el tipo de vegetación en el área de estudio es bosque de pino. Durante las visitas en campo se evidenció que, en las áreas de estudio, el estrato arbóreo se trata de un bosque de *Pinus hartwegii* como especie dominante, combinado con algunos pocos individuos de *P. strobiformis* (Figura 2).



Figura 2. Vegetación de bosque de pino en el Cerro El Potosí, Galeana.

5.2.2. Edafología

El suelo dominante del área de estudio es el Litosol, y los suelos secundarios son Rendzina y Regosol calcárico (INEGI, 2005). Los Leptosoles son suelos poco desarrollados, pedregosos y de escasa profundidad. En otras clasificaciones, se conocen como Litosoles o Redzinas y a menudo contienen una cantidad significativa de material calcáreo (SEMARNAT, 2012).

5.2.3. Hidrología

Las áreas de estudio se encuentran ubicadas en la Región Hidrológica RH24 Bravo-Conchos, dentro de la Cuenca RH24B Rio Bravo – San Juan y en la correspondiente Subcuenca RH24Bh Rio Pilón (INEGI, 2010).

5.2.4. Clima

De acuerdo con la clasificación de Koppen actualizado por García & CONABIO (1998) el tipo de clima en el área de estudio es Templado Subhúmedo (C(wo)x'). Así mismo, la estación meteorológica Ejido Dieciocho de Marzo del Servicio Meteorológico Nacional (2024) ubicada en Galeana, capturó una temperatura promedio anual de 22.7 °C y una precipitación acumulada anual promedio de 542.3 mm, siendo los meses de junio, julio y septiembre los de mayor precipitación (Figura 3).

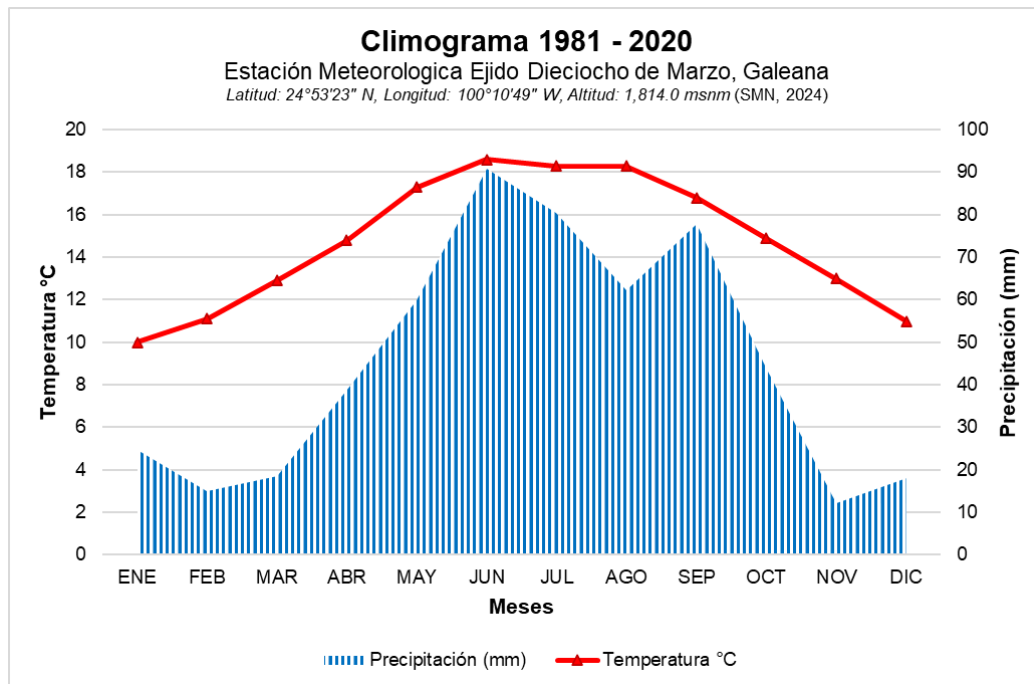


Figura 3. Climograma 1981 – 2020 Estación Meteorológica Ejido Dieciocho de Marzo, Galeana (Elaboración propia con datos de Servicio Meteorológico Nacional, 2024).

5.3. Materiales

Durante el trabajo de campo, se utilizaron cintas diamétricas e hipsómetros para medir los diámetros y las alturas de los árboles seleccionados. Para la recolección de muestras, se empleó un taladro de Pressler tipo Haglöf para extraer núcleos de crecimiento (Figura 4). Además, con un serrucho manual extensible, se cortaron muestras de ramas infestadas con muérdago.



Figura 4. Taladro de Pressler tipo Haglöf.

En el laboratorio, se emplearon listones de madera con un surco central para montar los núcleos de crecimiento, y se utilizaron lijas para madera y lijas de agua para el lijado tanto de los núcleos de crecimiento como de las secciones de ramas.

Para la medición y análisis de las muestras dendrocronológicas y ramas infestadas, se utilizó un *estereomicroscopio AmScope (TMSM-4TPZ-B)* con platina deslizable y un micrómetro *VELMEX® (0.001 mm)*. Los softwares utilizados son *software Measure J2X V5.03* (VoorTech Consulting, 2021) para la medición de los anillos, *software COFECHA* (Grissino-Mayer, 2001) para la validación de las mediciones y *R (R Core Team, 2023)* para el análisis de los datos.

5.4. Metodología

5.4.1. Inventario forestal y colecta de muestras

Como primer paso, se delimitaron las áreas de estudio que corresponden a dos rodales de *P. hartwegii* con una condición de latizal, es decir, arboles con diámetros de entre 10 a 30 cm. Los rodales cuentan con presencia de muérdago enano (*A. vaginatum*) (Figura 5), uno de ellos con mayor densidad de individuos y otro con menor densidad.



Figura 5. Presencia de muérdago en rodal con mayor densidad.

Dentro del Rodal 1 se seleccionaron de 10 a 15 individuos sanos y de cada nivel de infestación, mientras que del Rodal 2 se seleccionaron solo 12 individuos en total entre sanos e infestados. Una vez seleccionados los individuos, se midieron las variables dasométricas del individuo como el diámetro a altura de pecho (DAP) y la altura total. A si mismo se georreferenciaron cada árbol evaluado.

Posteriormente, se realizó la evaluación del nivel de infestación por muérdago utilizando el sistema de evaluación de 6 clases de Hawksworth (1977). Dicha metodología es utilizada y recomendada a nivel nacional por la CONAFOR

(2007) en su manual de Sanidad Forestal para la evaluación de áreas infestadas por muérdago en terrenos forestales. Así mismo, sigue siendo válido su uso y aplicación en el contexto internacional en diversas investigaciones y estudios relacionados con esta plaga.

El sistema de evaluación de 6 clases de Hawskworth (1977) consiste en lo siguiente:

1. Se divide la copa del árbol seleccionado en tres partes
2. A cada tercio de la copa se le asigna un valor de 0, 1 y 2 de acuerdo con la presencia de plantas de muérdago (Figura 6):
 - a. **Valor de 0** cuando no existe una infección visible
 - b. **Valor de 1** cuando la mitad de las ramas están infectadas
 - c. **Valor de 2** cuando más de la mitad de las ramas están infectadas
3. Finalmente, se realiza una sumatoria de los valores de cada tercio de la copa y se le asigna el nivel de infestación de acuerdo con la Tabla 1.

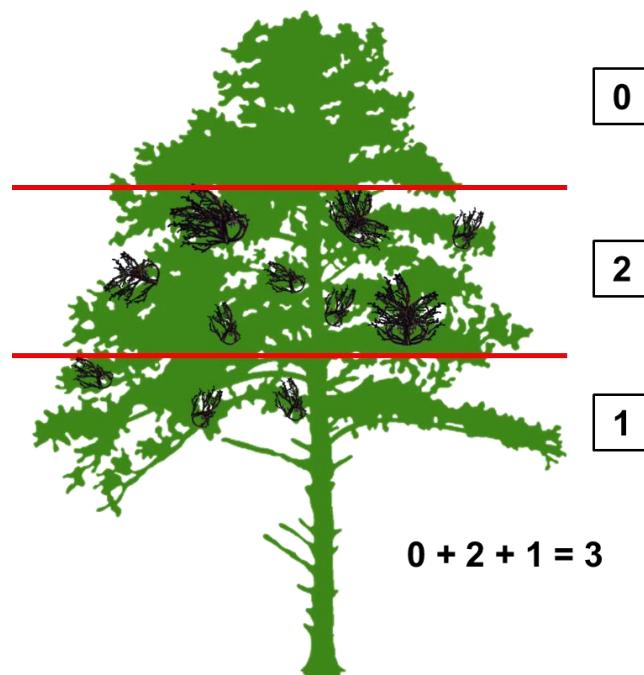


Figura 6. Ejemplo de una evaluación de 6 clases de Hawskworth (1977) modificado por J. Leal (2024).

Tabla 1. Clasificación de niveles de infestación por muérdago.

Nivel de infección para muérdagos enanos (<i>Arceuthobium spp.</i>)		
1 – 2	3 – 4	5 – 6
Leve	Moderado	Severo

Se colectaron dos muestras de núcleos de crecimiento del árbol con el Taladro de Pressler (Figura 7). Las muestras se obtuvieron a la altura del pecho y perpendicular a la pendiente como se muestra en la Figura 8, de esta forma se evita colectar la madera de compresión y tensión.



Figura 7. a) Perforación de arbolado con Taladro de Pressler, b) Extracción de núcleo de crecimiento.

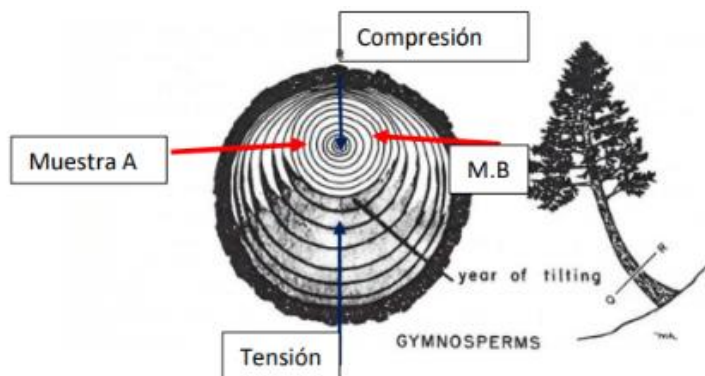


Figura 8. Madera de compresión y tensión en un corte transversal (Tomado de González Juan, 2019).

Además, se colectaron ramas que presentaron infecciones por muérdago en los individuos evaluados (Figura 9). De acuerdo con Scharpf & Parmeter (1966) es posible determinar la edad de infestación por muérdago en un árbol mediante los anillos de crecimiento de un corte transversal de la rama infectada, identificando patrones de abultamiento en la madera.



Figura 9. Colecta de ramas infestadas por muérdago (*Arceuthobium vaginatum*) en los rodales del Cerro El Potosí (Agosto de 2023).

5.4.2. Preparación de muestras

En el Rodal 1 se extrajeron 85 núcleos de crecimiento pertenecientes a 43 árboles, mientras que en el Rodal 2 se extrajeron 24 núcleos de 12 árboles. Estas muestras fueron procesadas siguiendo las técnicas recomendadas por Stokes & Smiley (1968) en el Laboratorio de Dendrocronología de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma de Nuevo León.

El procesado consiste en montar las muestras en molduras de madera acanaladas con pegamento, sujetándolas con cinta de papel para evitar que se tuerzan por la pérdida de la humedad (Figura 10). Después, se lijaron con diferentes grados que van desde 120 hasta 1500 para facilitar la observación de los anillos de crecimiento en el estereomicroscopio (Figura 11).



Figura 10. Procedimiento estandarizado para el a) Montaje y pegado del núcleo de crecimiento, b) Identificación de muestra, c) Cinta de papel para ajustar las muestras.

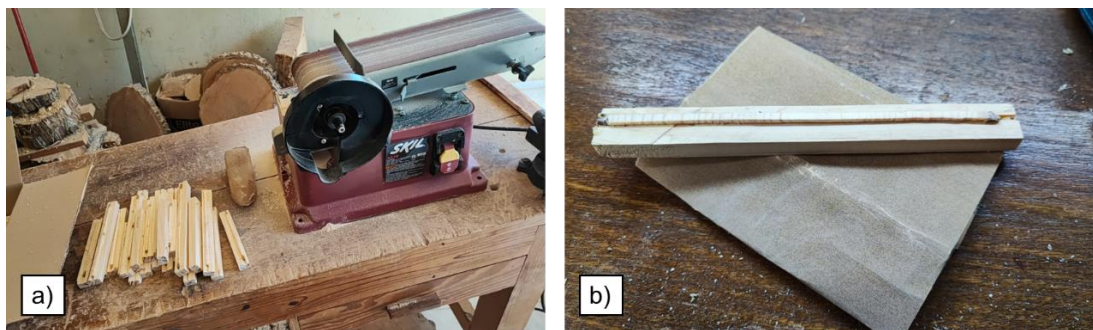


Figura 11. a) Lijado inicial con lijadora de banda con granulado de 120, b) Lijado manual con granulado de 200 a 1200.

Además, se colectaron ocho ramas infestadas por muérdago en el Rodal 1 y siete ramas en el Rodal 2. Se realizaron cortes transversales con una sierra

de inglete sobre donde se encontraba la infección por muérdago. Se seleccionaron 38 y 14 rodajas, respectivamente de cada rodal, que presenten patrones de abultamiento para conocer el año de infestación más antiguo en el rodal. Se lijaron con diferentes grados, desde 120 a 1500 (Figura 12).



Figura 12. a) Rama infectada con muérdago, b) Cortes transversales de secciones de ramas infectadas.

El prefchado es un procedimiento preliminar para determinar el año exacto de formación del anillo de crecimiento tomando en cuenta la fecha de colecta de la muestra y diferentes patrones climáticos de la región que se reflejan en el ancho de anillo. Mediante las técnicas estándares (Stokes & Smiley, 1968), se marcaron en cada muestra las décadas y los siglos (Figura 13) (Villanueva Díaz et al., 2004).



Figura 13. Prefchado visual de las muestras. Un punto se refiere al inicio de una década, dos puntos para cincuenta años y tres puntos para cien años.

5.4.3. Medición de muestras

La medición de las muestras de núcleo de crecimiento se realizó utilizando un micrómetro de precisión de 0.001 mm y una platina deslizante de la marca VELMEX® (0.001 mm) (Figura 14). Las muestras se miden una por una deslizando la platina y observando a través de un *estereomicroscopio AmScope (TMSM-4TPZ-B)* (Villanueva Díaz et al., 2004). Las mediciones se inician desde el ultimo anillo formado hacia el centro o medula de la muestra. Se utilizó el *software Measure J2X V5.03* para capturar las mediciones del ancho de anillo.

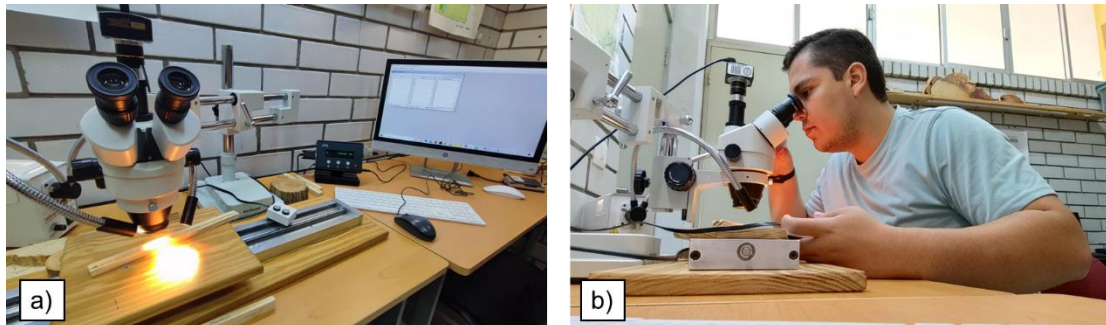


Figura 14. a) Estereomicroscopio *AmScope (TMSM-4TPZ-B)* con platina VELMEX® y micrómetro conectado a una computadora ejecutando el *software MeasureJ2X*, b) Medición de muestras.

Se seleccionaron las muestras de cada rama que mejor representaran los patrones de abultamientos. A través del estereomicroscopio se obtuvo el año en que comenzó la deformación en la rama, lo que indica el año en que el muérdago comenzó a afectar el crecimiento de la rama (Figura 15). Al final, se escanearon las muestras de los cortes transversales de las ramas a una resolución de 600 dpi.

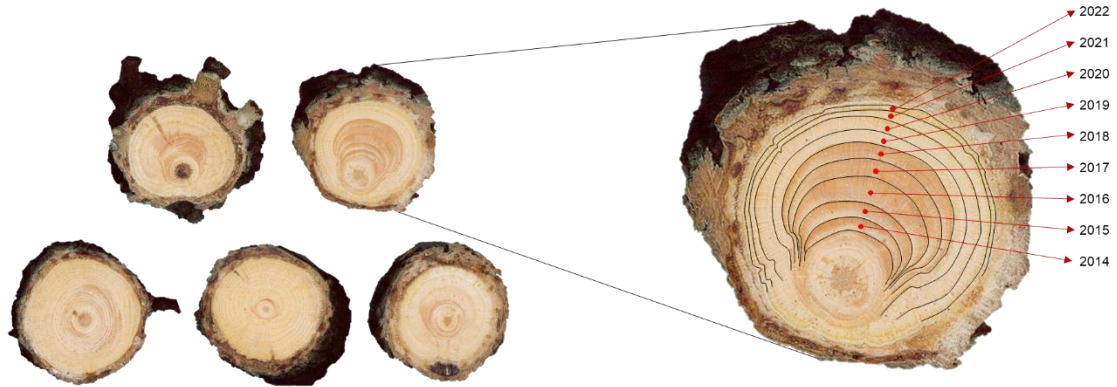


Figura 15. Izquierda: cortes transversales de ramas afectadas. Derecha: conteo de anillos con abultamiento para determinar el año de infestación.

El *software COFECHA* (Figura 16) es fundamental en la dendrocronología ya que evalúa la calidad de las dataciones cruzadas y la precisión de las mediciones de series de anillos de árboles (Grissino-Mayer, 2001). Mediante este programa se validó las cronologías generadas a través de la medición de anillos de crecimiento, así mismo, se modificaron aquellas series que presentaban errores y las cuales pudieran presentar valores de correlación más altos.



Figura 16. Pantalla de software COFECHA.

5.4.4. Análisis de las muestras

Se empleó el software de R (R Core Team, 2023) y la paquetería dplR (*Dendrochronology Program Library in R*) (Bunn, 2008) para realizar cálculos específicos (Figura 17). Estos cálculos se centrarán en la determinación del Incremento de Área Basal (IAB) (González-Tagle et al., 2024), donde:

$$IAB = \pi(R_i^2 - R_{-i}^2)$$

i = año de formación del anillo

R es el radio del fuste (cm)



Figura 17. Paquetería dplR (Dendrochronology Library Program in R).

Para realizar los análisis comparativos entre los niveles de infestación antes y durante la infestación por muérdago, se utilizará una prueba estadística de ANOVA. En caso de que los datos no cumplan con los supuestos de normalidad, se aplicará una prueba estadística no paramétrica de Kruskal-Wallis (McKight & Najab, 2010). Para comparar entre cada nivel de infestación se utilizará una prueba de pares de Wilcoxon (Haynes, 2013).

6. RESULTADOS

6.1. Inventario forestal

En el primer rodal, caracterizado por una mayor densidad de árboles, se recolectaron en agosto de 2023 muestras de 43 ejemplares de *Pinus hartwegii*. De estos, diez pertenecen a la categoría de sanos, doce a la categoría de leve, once a moderado y diez a severo (Figura 18a). De acuerdo con la Figura 18b, los individuos con daño moderado presentaron el mayor diámetro promedio, mientras que los árboles sanos mostraron menor diámetro. En cuanto a las alturas, las categorías sano y leve tuvieron un promedio de 7 metros, mientras que las categorías moderado y severo alcanzaron una altura promedio de 8 metros (Figura 18c).

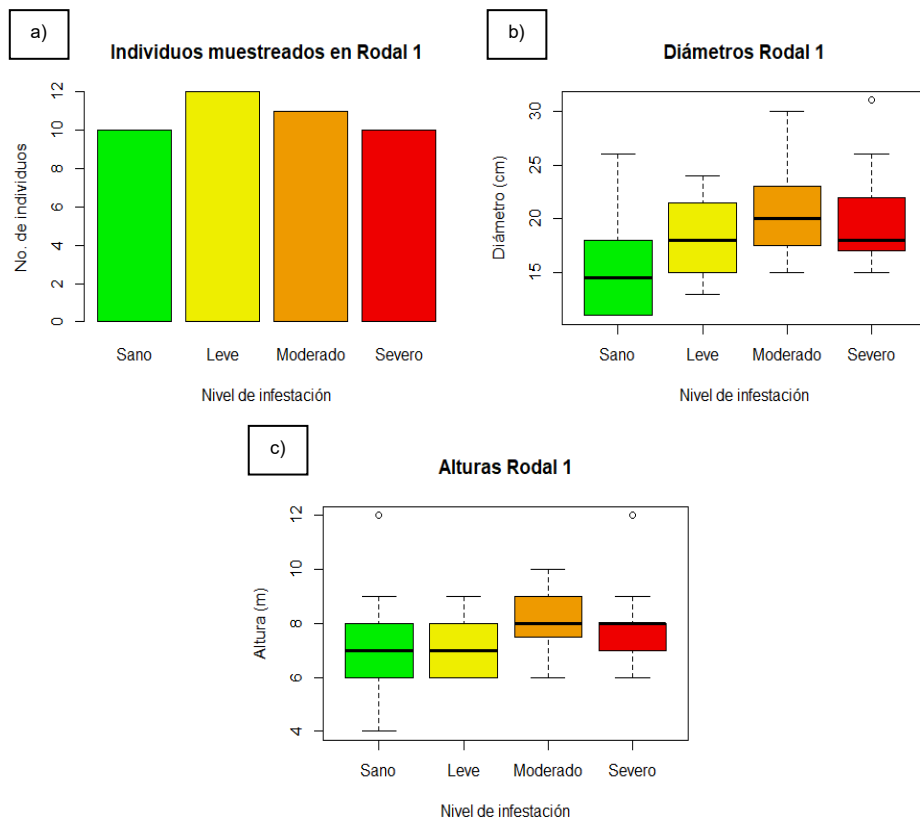


Figura 18. Rodal 1; a) número de individuos muestreados por categoría de infestación y distribución de b) diámetros y c) alturas.

En el segundo rodal, con una menor densidad de árboles, se tomaron muestras en febrero de 2024 de 12 individuos de *P. hartwegii*, cuatro sanos, dos de leve, cuatro de moderado y dos de severo (Figura 19a). De acuerdo con la Figura 19b, los árboles con daño moderado mostraron el mayor diámetro promedio, mientras que las alturas varían entre 7.5 y 9 metros, siendo mayores las de categoría moderada y severa (Figura 19c).

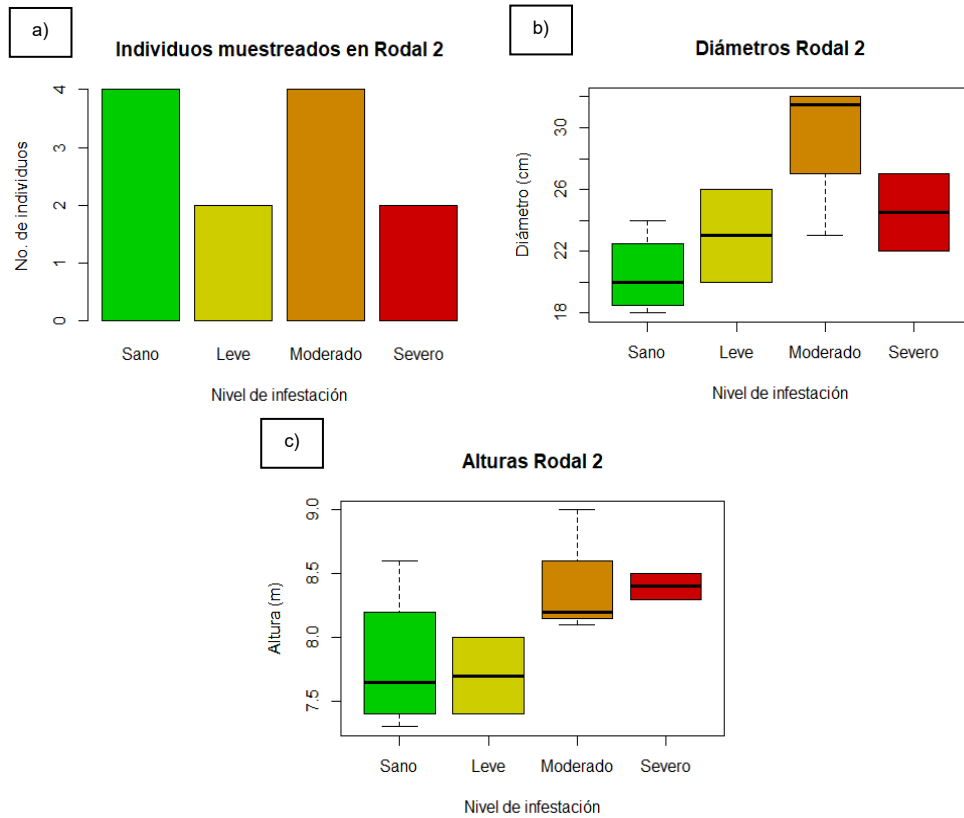


Figura 19. Rodal 2; a) número de individuos muestreados por categoría de infestación y distribución de b) diámetros y c) alturas.

6.2. Historial de infestaciones

Para los resultados obtenidos sobre la afectación por muérdago en las ramas, se seleccionaron las muestras que mejor representaban los efectos de la infestación. En el Rodal 1, el último anillo de crecimiento observado correspondió al año 2022, mientras que en el Rodal 2 fue el 2023. A través del uso de un estereomicroscopio, se realizó un fechado visual de los anillos de crecimiento, identificando el año en el que comenzó la deformación y el abultamiento en las ramas.

Para determinar con mayor precisión el inicio de la infección por muérdago, se aplicó la recomendación de Scharpf y Parmeter (1966), recomiendan restar un año al momento en que se observa el primer abultamiento. Este ajuste refleja el tiempo que los haustorios del muérdago tardan en desarrollarse dentro de la rama antes de que se forme su estructura aérea. La Figura 20 ilustra de forma clara este proceso.

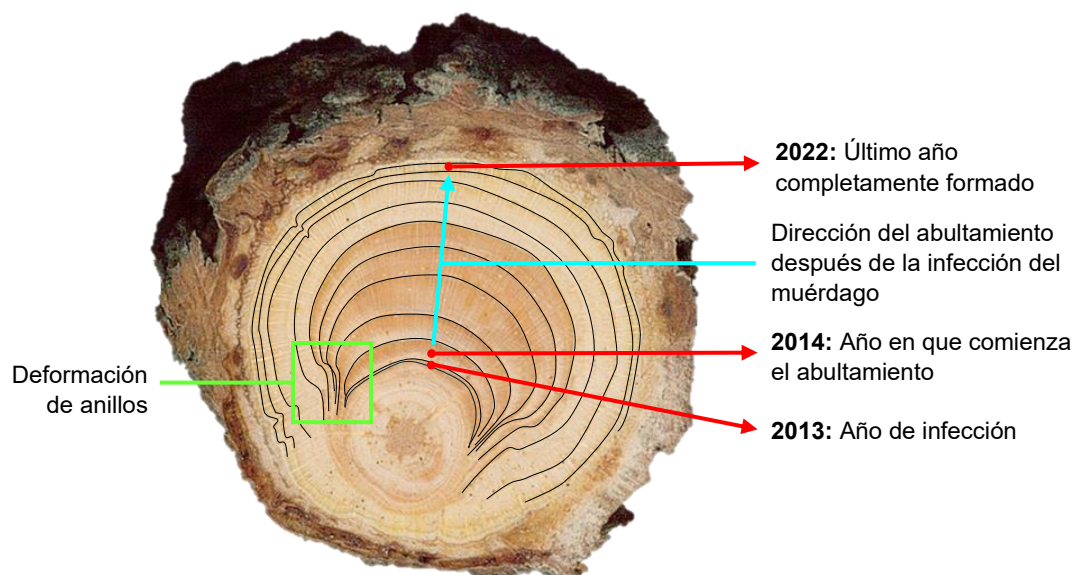


Figura 20. Representación gráfica del abultamiento y deformación de anillos de crecimiento en una rama infestada por muérdago en el año 2013.

La Tabla 2 presenta la reconstrucción del historial de infestación en el cual se identificó el año más antiguo en el que comenzó el abultamiento en cada nivel de infestación, aplicando el ajuste de un año previamente mencionado. En el Rodal 1, la infección más temprana se registró en 2011 en el nivel severo, mientras que en el Rodal 2, las infecciones más antiguas ocurrieron en 2013 en los niveles moderado y severo.

Además, se identificaron infecciones en años posteriores que también afectaron a las ramas de los árboles muestreados. Por ejemplo, en el nivel severo del Rodal 1, se detectaron infecciones continuas en varios años, siendo la más reciente en 2019. En contraste, en el Rodal 2, no se encontraron infecciones en años recientes.

Tabla 2. Reconstrucción del historial de infestación: años de infección identificados para cada nivel de infestación y rodal.

Rodal	Nivel de infestación	Año de infección (-1)	Año más antiguo donde comienza el abultamiento	Años posteriores de infección (-1)
1	Leve	2015	2016	2017
	Moderado	2013	2014	-
	Severo	2011	2012	2012, 2014, 2015, 2016, 2018, 2019
2	Leve	2014	2015	2016
	Moderado	2013	2014	2016, 2017
	Severo	2013	2014	2014

6.3. Validación por COFECHA

Se llevó a cabo un control de calidad y verificación de la datación de los anillos de crecimiento utilizando el *software COFECHA*, el cual permitió evaluar la correlación entre las series de anillos y detectar posibles errores en la datación. Según los resultados presentados en la Tabla 3, ambas series fueron datadas correctamente, mostrando una intercorrelación de 0.773 y 0.857, respectivamente. Estos valores confirman la confiabilidad de la datación y medición, permitiendo su uso en el análisis posterior.

Tabla 3. Resumen del control de calidad y verificación de la datación de los anillos de crecimiento.

Resumen	Rodal 1	Rodal 2
Numero de series datas	85	24
Serie maestra	38 años	33 años
Total de anillos en todas las series	2391	582
Total de anillos fechados comprobados	2391	582
Inter correlación de series	0.773	0.857
Sensibilidad media promedio	0.490	0.478
Segmentos y posibles problemas	3	1
Longitud media de la serie	28.1	24.3

6.4. Incrementos de Área Basal (IAB)

Las Figura 21 y 22 muestran los IAB promedios por nivel de infestación para cada rodal. La simbología de los gráficos utiliza color verde y línea continua para representar el IAB de los individuos sanos, los cuales han permanecido en esta categoría desde su establecimiento en el rodal.

Por otro lado, los árboles categorizados en los niveles de infestación (leve, moderado y severo) presentan una línea discontinua para mostrar el IAB promedio antes de la infestación más antigua identificada para estos árboles, mientras que el IAB durante la infestación se ilustra con una línea continua.

De acuerdo con el Figura 21, en un periodo inicial (1992-1997), los árboles sanos competían con otros árboles dentro del rodal. Sin embargo, a partir de 1998, el IAB promedio de los árboles sanos se mantuvo por debajo del IAB de los árboles categorizados en los niveles de infestación leve, moderado y severo, tanto antes de que estos fueran infestados por muérdago como durante el periodo de infestación.

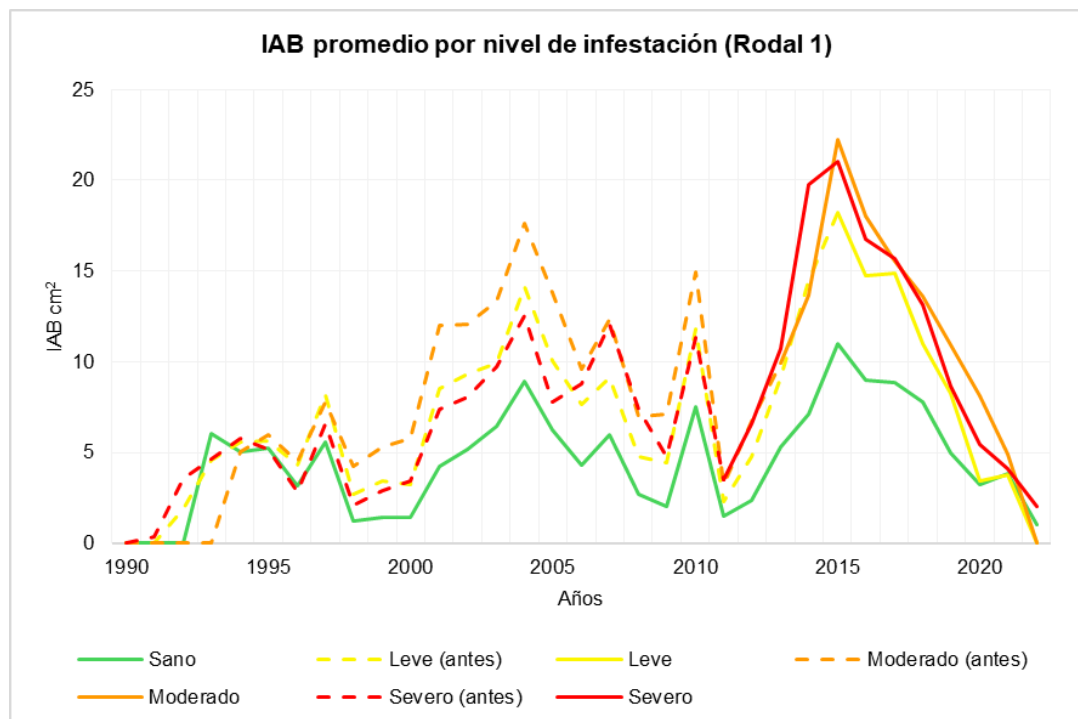


Figura 21. IAB promedio por nivel de infestación en el Rodal 1.

Por otro lado, el Figura 22 muestra que, en el Rodal 2, los árboles sanos resultaron ser en promedio más jóvenes. Además, presentaron un comportamiento similar al del Rodal 1 en términos de su IAB promedio, al compararse con los árboles infestados, tanto antes como durante la infestación.

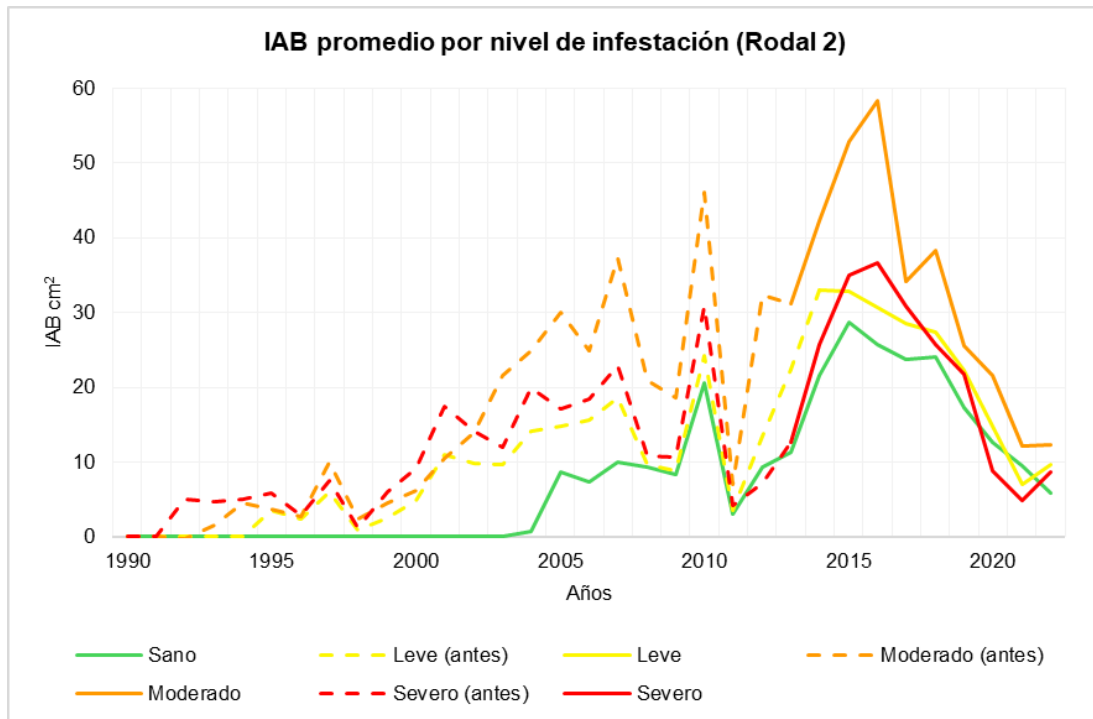


Figura 22. IAB promedio por nivel de infestación en el Rodal 2

En ambos gráficos, a partir de la sequía de 2011, se observa un repunte en el IAB en todas las categorías hasta alrededor de 2015-2016. Sin embargo, tras este periodo, el ritmo de crecimiento del IAB disminuye considerablemente. En los últimos años, el IAB de los árboles infestados mostró una reducción, llegando a igualarse con el de los árboles sanos.

6.5. Análisis estadístico

La prueba de normalidad de Shapiro-Wilk indica que los IAB promedio en ambos rodales no presentan una distribución normal ($p < 0.001$), por lo tanto, se aplicaran pruebas no paramétricas para el análisis estadístico.

Se aplico una prueba de Kruskal-Wallis para comparar los IAB entre niveles de infestación en dos periodos de tiempo, antes de la primera infestación registrada con las muestras de ramas infestadas y durante el periodo de infestación, 2001 – 2011 (antes) y 2012 – 2022 (durante) para el primer rodal, mientras que para el segundo rodal fue de 2005 – 2013 (antes) y 2014 – 2022 (durante). Las pruebas mostraron diferencias significativas en los IAB entre los niveles de infestación antes y durante la infestación (Tabla 4).

Tabla 4. Resultados de valor de significancia de las pruebas estadísticas.

Rodal	Prueba de Kruskal-Wallis	
	Antes (<i>P value</i>)	Durante (<i>P value</i>)
1	<0.001	<0.001
2	<0.001	<0.01

Además, se realizaron comparaciones por pares utilizando la prueba de suma de rangos de Wilcoxon con corrección de continuidad. Se compararon entre si los IAB de los árboles sanos y de los tres niveles de infestación antes y durante la infestación en cada rodal (Tabla 5).

Tabla 5. Valores de significancia de la comparación por pares de Wilcoxon.

Rodal	Nivel de infestación	Antes (<i>P value</i>)			Durante (<i>P value</i>)		
		Sano	Leve	Moderado	Sano	Leve	Moderado
1	Leve	<0.001	-	-	<0.01	-	-
	Moderado	<0.001	<0.001	-	<0.001	0.2826	-
	Severo	<0.001	0.1926	<0.05	<0.001	0.2826	0.8723
2	Leve	<0.05	-	-	0.1904	-	-
	Moderado	<0.001	<0.001	-	<0.01	<0.05	-
	Severo	<0.05	0.8969	<0.001	0.3385	0.7567	<0.05

En el rodal 1, durante el periodo previo a la infestación, los IAB de los árboles clasificados como leve y severo no mostraron diferencias significativas, presentando incrementos similares en ese lapso. No obstante, durante la infestación, los IAB de los tres niveles de infestación tampoco registraron diferencias significativas y, como se ilustra en la Figura 21, mantuvieron una tendencia de incremento similar. En contraste, los árboles sanos presentaron diferencias significativas antes y durante la infestación en comparación con los árboles infestados, aunque estas diferencias se atribuyen a que los árboles sanos tuvieron IAB más bajos incluso antes de que ocurrieran las infestaciones.

En el rodal 2, previo a la infestación, los IAB de los árboles clasificados como leve y severo tampoco mostraron diferencias significativas. Sin embargo, durante la infestación, únicamente los IAB de los árboles clasificados como moderados presentaron diferencias significativas, con un mayor incremento en comparación con los otros niveles de infestación y los árboles sanos, como se muestra en la Figura 22.

7. DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en el inventario forestal indican que, en los dos rodales muestreados, los árboles de *Pinus hartwegii* con infestación de muérdago presentan diámetros y alturas mayores en comparación con los árboles sanos. Esto sugiere que los árboles de mayor tamaño pueden ser más susceptibles a la infestación por *Arceuthobium vaginatum*, y coincide con Hawksworth (1996) y Endara-Agramont et al. (2022), quienes describen que la estructura del dosel y la densidad de los rodales influyen en la dispersión y permanencia del muérdago.

La diferencia en los niveles de infestación entre árboles con distinto tamaño también podría estar relacionada con la estructura y densidad del rodal. En el primer rodal, de mayor densidad, el muérdago podría beneficiarse de la proximidad entre los árboles, facilitando la dispersión de sus semillas hacia otros individuos cercanos (Klutsch et al., 2014). Por otro lado, los árboles con menor infestación, menor diámetro y altura parecen estar en una posición favorable para limitar la dispersión del muérdago.

Adicionalmente, Queijeiro-Bolaños et al. (2013), señala que la topografía y los factores ambientales, como la pendiente y la orientación, son cruciales para la propagación de *A. vaginatum*, y que la dispersión puede estar limitada en rodales menos densos o con condiciones ambientales menos favorables para la dispersión y desarrollo del muérdago.

Además, Reid et al. (1995) argumentan que las infecciones severas son menos comunes en árboles subdominantes, lo cual coincide con la observación de que los árboles de menor diámetro y altura en este estudio presentan niveles más bajos de infestación (Figura 21; Figura 22). Esto sugiere que los árboles de mayor tamaño, al estar en el dosel dominante, tienen un mayor riesgo de exposición y, por ende, de infestación.

El trabajo de Scharpf y Parmeter (1966), que propuso un método para determinar la edad de las infecciones de muérdago, fue útil para la datación

de las infestaciones ocurridas en los rodales investigados en este estudio, ya que se pudo identificar el inicio de la deformación en las ramas, lo cual coincide con el periodo en que comenzó la infestación.

Pocos estudios han determinado el año de infección por el género *Arceuthobium* a través de los anillos de crecimiento de las ramas. Por ejemplo, Muir (1972) y (Mathiasen, 1998), utilizaron el análisis de anillos de crecimiento de las ramas para estudiar el desarrollo de infecciones en árboles jóvenes. Por su parte, Mallams et al. (2005), se enfocó en relacionar el tamaño de la escoba por muérdago con la edad, así como en otras características del parasito y el árbol.

Esta metodología es efectiva para evaluar la historia de la infestación y su impacto y desarrollo a largo plazo en los bosques. Además, permite identificar el año de la infección inicial y conocer cuanto tiempo lleva el muérdago afectando el crecimiento del árbol huésped, así como el periodo de recurrencia (Figura 20), lo que representa un aspecto menos explorado en muchos estudios.

Los resultados de nuestra investigación indican que los árboles de *P. hartwegii* infestados por muérdago tuvieron un incremento de área basal (IAB) promedio mayor al de los árboles sanos, tanto en el periodo previo a la infestación como durante la misma. Stanton (2007) observó una tendencia similar en el que los árboles infectados aumentaban su ancho de anillo de crecimiento bajo condiciones de humedad favorable, lo que se refleja también en nuestro estudio, especialmente en los años posteriores a la sequía de 2011 (Figura 21; Figura 22).

Por otro lado, Scott & Mathiasen (2012) documentaron que este crecimiento inicial que es mayor en árboles infestados disminuye con el tiempo, especialmente en aquellos con infestaciones severas, un patrón que también observamos en nuestro análisis, donde el crecimiento de árboles infestados tiende a igualarse con el de los sanos en etapas avanzadas de infección. Esto sugiere que el muérdago podría inicialmente permitir el crecimiento en

condiciones favorables, pero que a largo plazo agotaría los recursos del árbol, limitando su capacidad de crecimiento.

Además, la infección por muérdago aumenta la sensibilidad de los árboles a condiciones climáticas extremas, especialmente a la sequía, con efectos más marcados en el crecimiento de acuerdo con Stanton (2007). Así mismo, Bell et al. (2020), observó que las altas temperaturas y la sequedad reducen el crecimiento y aumentan la mortalidad en árboles infectados, especialmente aquellos con infecciones moderadas y severas.

Los cambios estructurales en las copas, como la deformación de ramas y la reducción de follaje, limitan el crecimiento y aumentan la demanda de recursos en los árboles infectados, lo que agrava los efectos del muérdago (Calkins et al., 2021). Sin embargo, en los rodales evaluados, estos cambios aún no son lo suficientemente significativos como para afectar visiblemente el crecimiento radial. De acuerdo con Reid et al. (1995), la reducción en el crecimiento del hospedero se debe al reemplazo de su dosel por el follaje del muérdago.

Aunque en esta investigación no se encontraron diferencias significativas en el crecimiento de árboles sanos e infestados por muérdago, estudios en otras regiones han demostrado que la infestación puede reducir notablemente variables como altura, diámetro y volumen. Epp y Tardif (2004) documentaron estos efectos en *P. banksiana* Lamb en Canadá, Elizondo et al. (2018) en *P. cooperi* en Durango, México, Agne et al. (2014) en *P. contorta* Douglas ex Loudon en Oregon, Estados Unidos, y Martínez-Salvador et al. (2015) en *P. hartwegii* en Colima, México.

Aunque los efectos aún no sean evidentes en esta área de estudio, lo encontrado por otros autores respalda el hecho de que el muérdago tiene el potencial de afectar negativamente el crecimiento y estructura de los árboles en distintas condiciones ambientales.

Nuestros resultados indican que los rodales evaluados tienen infestaciones recientes de muérdago. De acuerdo con Kollas et al. (2018), los efectos del muérdago en el crecimiento de los árboles se vuelven significativos después de varios años, tras un período de latencia. En nuestros rodales, aún no se observan efectos negativos claros, lo que sugiere que la infestación está en una etapa temprana.

Este patrón implica que, aunque los efectos no sean inmediatos, el impacto del parásito podría aumentar en los próximos años, afectando la salud y crecimiento de los árboles. Por lo tanto, es fundamental continuar el monitoreo a largo plazo para detectar cambios y adaptar las estrategias de manejo forestal.

8. CONCLUSIONES

La aplicación de la técnica dendrocronológica en los anillos de las ramas permitió identificar con precisión el año de infección por *Arceuthobium vaginatum* en *Pinus hartwegii* y reconstruir un historial de infestación, lo que demuestra que es una herramienta viable y replicable para estudiar el impacto del muérdago en esta especie y potencialmente en otras coníferas.

De acuerdo con los resultados, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas en el Incremento de Área Basal (IAB) de los árboles estudiados en relación con el tiempo de infestación, lo que indica que, en el periodo evaluado, la infestación no ha afectado el crecimiento radial de manera notable.

Para obtener una evaluación más completa sobre el efecto del muérdago en el crecimiento de las coníferas, es recomendable considerar periodos de monitoreo más largos y afectaciones más severas. Esto podría permitir la identificación de cambios en los incrementos que puedan surgir en etapas avanzadas de la infestación.

9. BIBLIOGRAFÍA

- Agne, M. C., Shaw, D. C., Woolley, T. J., & Queijeiro-Bolanos, M. E. (2014). Effects of dwarf mistletoe on stand structure of lodgepole pine forests 21-28 years post-mountain pine beetle epidemic in central Oregon. *PLoS One*, 9(9), e107532. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0107532>
- Alvarado Rosales, D., & Saavedra Romero, L. de L. (2017). La investigación sobre plantas parásitas en México. En Alvarado Rosales, D., & Saavedra Romero, L. de L. (Eds.) *Memorias del Foro Nacional: Las Plantas Parásitas en México*. (pp. 7-13). Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo Texcoco, Estado de México.
- Bell, D. M., Pabst, R. J., & Shaw, D. C. (2020). Tree growth declines and mortality were associated with a parasitic plant during warm and dry climatic conditions in a temperate coniferous forest ecosystem. *Global Change Biology*, 26(3), 1714–1724. <https://doi.org/10.1111/gcb.14834>
- Bunn, A. G. (2008). A dendrochronology program library in R (dplR). *Dendrochronologia*, 26(2), 115–124. <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2008.01.002>
- Calkins, S. J., Shaw, D. C., & Lan, Y. H. (2021). Transformation of western hemlock (*Tsuga heterophylla*) tree crowns by dwarf mistletoe (*Arceuthobium tsugense*, Viscaceae). *Forest Pathology*, 51(1). <https://doi.org/10.1111/efp.12664>
- Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). (2007). *Manual de sanidad forestal* (1.^a ed.). Zapopan, Jalisco, México. <http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/15/810Manual%20de%20sanidad%20forestal.pdf>

- Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). (2023a). *Principales indicadores del sector forestal en México. Databosques*.
<https://databosques.cnf.gob.mx/inicio/>
- Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). (2023b). *Producción y productividad. Sistema Nacional de Información Forestal*.
https://snif.cnf.gob.mx/produccion_y_productividad/
- Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). (2024). *Plantas parásitas: Alerta temprana y evaluación de riesgo de presencia de plantas parásitas año 2024*. <https://goo.su/RBd9Jn>
- Elizondo, M., Flores Villegas, M., Zagoya, R., González-Elizondo, M. S., Linares, M., Quiñonez-Barraza, S., Howell, B., & Mathiasen, R. (2018). Effects of Mexican dwarf mistletoe (*Arceuthobium vaginatum* subsp. *vaginatum*) on the growth of *Pinus cooperi* in Durango, México—A case study. *Forest Pathology*, 49, e12473. <https://doi.org/10.1111/efp.12473>
- Endara-Agramont, A. R., Heredia-Bobadilla, R. L., García-Almaraz, L. A., Luna-Gil, A. A., Franco-Maass, S., & Cibrián-Llenderal, V. D. (2022). Factores asociados con la distribución espacial de muérdagos enanos en dos poblaciones de *Pinus hartwegii* del centro de México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 93. <https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2022.93.5008>
- Epp, B., & Tardif, J. (2004). Effects of Lodgepole Pine Dwarf Mistletoe, *Arceuthobium americanum*, on Jack Pine, *Pinus banksiana*, growth in Manitoba. *The Canadian Field-Naturalist*, 118, 595. <https://doi.org/10.22621/cfn.v118i4.62>
- García, E., & Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). (1998). *Climas, escala 1:1,000,000*. México. <http://geoportal.conabio.gob.mx/metadatos/doc/html/clima1mgw.html>

- González, J. J. (2019). *Respuesta del crecimiento de Pinus pseudostrabus Lindl a las variables climáticas en el Parque Nacional Cumbres de Monterrey*. Tesis de maestría, Universidad Autónoma de Nuevo León.
- González-Tagle, M. A., González-Cásares, M., Himmelsbach, W., & Gárate-Escamilla, H. A. (2024). Differences in the response of dendrochronological indicators to climatic and topographic conditions. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 15(81), 59–82. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v15i81.1435>
- Grissino-Mayer, H. D. (2001). Evaluating crossdating accuracy: A manual and tutorial for the computer program COFECHA. *Tree-Ring Research*, 57(2), 205–221. <https://repository.arizona.edu/handle/10150/251654>
- Hawksworth, F. G. (1979). The 6-class dwarf mistletoe rating system (Gen. Tech. Rep. RM-48). U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station. 7 p.
- Haynes, W. (2013). Wilcoxon Rank Sum Test. In: Dubitzky, W., Wolkenhauer, O., Cho, KH., Yokota, H. (eds) *Encyclopedia of Systems Biology*. Springer, New York, NY. https://doi.org/10.1007/978-1-4419-9863-7_1185
- Huerta Hernández, I. (2021). *Distribución espacial de plantas parásitas en regiones de alta montaña México*. Tesis de Licenciatura en Geografía. Facultad de Geografía, Universidad Autónoma del Estado de México.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2005). Conjunto de datos edafológicos. Escala 1:1,000,000, serie I. <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825267636>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2010). Red hidrográfica edición 2.0. Región H. Bravo Conchos. <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825006999>

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2020). Nuevo León. Superficie.

<https://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/nl/territorio/>

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2021). Uso del suelo y vegetación, escala 1:250,000, serie VII (continuo nacional).

<http://geoportal.conabio.gob.mx/metadatos/doc/html/usv250s7gw.html>

Klutsch, J. G., Beam, R. D., Jacobi, W. R., & Negrón, J. F. (2014). Bark beetles and dwarf mistletoe interact to alter downed woody material, canopy structure, and stand characteristics in northern Colorado ponderosa pine. *Forest Ecology and Management*, 315, 63–71.

<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2013.12.024>

Kollas, C., Gutsch, M., Hommel, R., Lasch-Born, P., & Suckow, F. (2018). Mistletoe-induced growth reductions at the forest stand scale. *Tree Physiology*, 38(5), 735–744.

<https://doi.org/10.1093/treephys/tpx150>

Mallams, K. M., Goheen, D. J., & Russell, D. (2005). Dwarf mistletoe broom development in mature Douglas-fir trees: A retrospective case study. *Northwest Science*, 79, 281–288.

Martín, S., Madrigal Huendo, S., Vázquez Collazo, I., Velasco Bautista, E., Morales Nieto, C. R., & Villarreal Guerrero, F. (2018). Efecto de *Arceuthobium vaginatum* (Willd.) Presl. subsp. *vaginatum* en *Pinus hartwegii* Lindl. en Colima. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*,

6(29), 44–55. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v6i29.215>

Mathiasen, R. L. (1998). Infection of young western larch by larch dwarf mistletoe in northern Idaho and western Montana. *Western Journal of Applied Forestry*, 13(2), 41–46.

<https://doi.org/10.1093/wjaf/13.2.41>

McKight, P. E., & Najab, J. (2010). Kruskal-Wallis test. En *The Corsini Encyclopedia of Psychology* (p. 1). John Wiley & Sons, Ltd.

<https://doi.org/10.1002/9780470479216.corpsy0491>

- Muir, J. A. (1972). Increase of dwarf mistletoe infections on young lodgepole pine. *Canadian Journal of Forest Research*, 2(4), 413–416. <https://doi.org/10.1139/x72-063>
- Queijeiro-Bolaños, M. E., Cano-Santana, Z., & Castellanos-Vargas, I. (2013). Does disturbance determine the prevalence of dwarf mistletoe (*Arceuthobium*, Santalales: Viscaceae) in central Mexico? *Revista Chilena de Historia Natural*, 86, 181–190. <http://dx.doi.org/10.4067/S0716-078X2013000200007>.
- R Core Team. (2023). R: A language and environment for statistical computing (version 4.3.1). Vienna, W, Austria. R Foundation for Statistical Computing.
- Reid, N., Caldera H., F., & Marmolejo M., J. G. (1987). Intensidad de infección de cuatro especies de muérdago enano *Arceuthobium* en el Cerro El Potosí, Nuevo León. En *IV Simposio Nacional sobre Parasitología Forestal* (Vol. 2, pp. 613–624).
- Reid, N., Smith, M. S., & Yan, Z. (1995). Ecology and population biology of mistletoes. En *Forest canopies* (pp. 285–310). https://www.academia.edu/20812188/Ecology_and_population_biology_of_mistletoes
- Romero Tovar, A. (2006). Influencia del muérdago enano (*Arceuthobium* spp.) en densidad básica, ancho de anillos, porcentaje de madera temprana y madera tardía, en dos especies de pino de Singuilucan, Hidalgo. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.
- Sánchez S., J. A., Torres E., L. M., & Castillo Q., D. (2007). Principales plantas parásitas y epífitas e insectos que atacan a los bosques del estado de Nuevo León. INIFAP, CIRNE. Campo Experimental Saltillo. *Folleto Técnico Núm. 36*. Coahuila, México. 35 p.
- Scharpf, R. F., & Parmeter, J. R. (1966). Determining the age of dwarf mistletoe infections on red fir. *Res. Note PSW-RN-105*. U.S. Department of

Agriculture, Forest Service, Pacific Southwest Forest and Range Experiment Station. 6 p.

Scott, J. M., & Mathiasen, R. L. (2012). Assessing growth and mortality of bristlecone pine infected by dwarf mistletoe using dendrochronology. *Forest Science*, 58(4), 366–376. <https://doi.org/10.5849/forsci.10-142>

SEMARNAT. (2012). Capítulo 3. Suelos. En *Informe de la situación del medio ambiente en México: Compendio de estadísticas ambientales indicadores clave y de desempeño ambiental*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México. https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe_12/00_intros/pdf.html

Servicio Meteorológico Nacional. (2024). Normales climatológicas por estado. *Nuevo León. Ejido Dieciocho de Marzo*. Comisión Nacional del Agua. <https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/informacion-climatologica/normales-climatologicas-por-estado?estado=nl>

Stanton, S. (2007). Effects of dwarf mistletoe on climate response of mature ponderosa pine trees. *Tree-Ring Research*, 63(2), 69–80. <https://doi.org/10.3959/1536-1098-63.2.69>

Stokes, M. A., & Smiley, T. L. (1968). *An introduction to tree-ring dating*. University of Arizona Press. <https://cir.nii.ac.jp/crid/1130282270239184128.bib?lang=ja>

Vázquez Collazo, I., Villa Rodríguez, A., & Madrigal Huendo, S. (2006). *Los muérdagos (Loranthaceae) en Michoacán* (Libro Técnico Núm. 2).

Villanueva, D. J., Cerano, P. J., Stahle, D. W., Therrel, M. D., Cleaveland, M. K., & Sánchez, C. I. (2004). *Elementos básicos de la dendrocronología y sus aplicaciones en México* (Folleto Técnico No. 2, 1[2], 1-12). Gómez Palacio, Durango, México.

VoorTech Consulting. (2021). *The tree ring measuring program project J2X*
(V5.03). VoorTech. <https://www.voortech.com/projectj2x/>