



Artículo / Article

Efecto de *Arceuthobium vaginatum* (Willd.) Presl. subsp. *vaginatum* en *Pinus hartwegii* Lindl. en Colima

Effect of *Arceuthobium vaginatum* (Willd.) Presl. subsp. *vaginatum* in *Pinus hartwegii* Lindl. in Colima State

Martín Martínez Salvador¹, Salvador Madrigal Huendo², Ignacio Vázquez Collazo², Efraín Velasco Bautista³, Carlos Raúl Morales Nieto⁴ y Federico Villareal Guerrero⁴

Resumen

A pesar de que los muérdagos son abundantes en México, se sabe muy poco acerca de su comportamiento en los diferentes hospederos. Existen algunos trabajos que documentan evaluaciones de daños y son más escasos los que integran información de árboles infestados con diferentes grados de ataque. El objetivo de este estudio fue determinar el efecto de *Arceuthobium vaginatum* subsp. *vaginatum* en la altura, diámetro y volumen de *Pinus hartwegii*, en el parque nacional Volcán Nevado de Colima. Se eligieron 18 árboles en un rodal natural con presencia de muérdago enano: nueve sanos y nueve enfermos; con edades entre 30 y 40 años a los cuales se les realizaron análisis troncales para reconstruir su historial de crecimiento. Se consideró el grado de infección 6, con base en el sistema de clasificación de Hawksworth. Se probaron las ecuaciones de *Shumacher* y *Chapman-Richards* a fin de seleccionar el modelo más adecuado para la descripción del fenómeno. El modelo de *Shumacher* presentó mejores ajustes en la predicción del crecimiento. La infestación por muérdago enano lo redujo 22 % en altura, 9 % en diámetro y 50 % en volumen; además afectó en porcentajes similares al incremento corriente anual e incremento medio anual, lo cual disminuye el volumen de madera producido y aumenta el turno técnico maderable del arbolado, en un promedio de 10 años. Los resultados sugieren la aplicación de prácticas de prevención y combate del parásito, así como el establecimiento de sitios de monitoreo continuo para la generación de conocimiento sobre la relación parásito-hospedero.

Palabras clave: *Arceuthobium vaginatum* (Willd.) Presl. subsp. *vaginatum*, crecimiento en diámetro, modelo de *Shumacher*, muérdago enano, parque nacional Nevado de Colima, *Pinus hartwegii* Lindl.

Abstract

Although mistletoes are abundant in Mexico, very little is known about their behavior on different hosts. There is some work on damage assessments and less on the behavior of trees infested with varying degrees of attack. The aim of this study was to determine the effect of *Arceuthobium vaginatum* subsp. *vaginatum* in height, diameter and volume of *Pinus hartwegii* in the Nevado de Colima Volcano National Park. 18 trees were chosen in a natural stand in the presence of dwarf mistletoe: nine sick and nine healthy, aged between 30 and 40 years to which stem analyzes were performed to reconstruct their history of growth. Based on the classification system of Hawksworth, the degree of infection was considered 6. Schumacher and Chapman-Richards equations to find the most appropriate model for the description of the phenomenon were tested. The first one showed better fit in predicting growth. Dwarf mistletoe infestation reduced it at 22 % in height, 9 % in diameter and 50 % in volume; it also affected by similar percentages the current annual increment and the mean annual increment, which lowers the volume of timber produced and the wooden technical rotation increases, at an average of 10 years. These results suggest the application of practices to prevent and combat the parasite and the establishment of continuous monitoring sites for the generation of knowledge about the host-parasite relationship.

Key words: *Arceuthobium vaginatum* (Willd.) Presl. subsp. *vaginatum*, diameter growth, Schumacher model, dwarf mistletoe, Nevado de Colima Volcano National Park, *Pinus hartwegii* Lindl.

Fechas de recepción/ date of receipt: 30 de agosto de 2013; Fecha de aceptación/date of acceptance: 2 de septiembre de 2014.

¹ CIR-Norte Centro. INIFAP. Correo-e: martinez.martin@inifap.gob.mx

² CIR-Pacífico Centro. INIFAP.

³ Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Conservación y Mejoramiento de Ecosistemas Forestales. INIFAP.

⁴ Facultad de Zootecnia y Ecología, Universidad Autónoma de Chihuahua

Introducción

Las condiciones ecológicas de cada sitio (altitud, suelo, clima, agua, parásitos) afectan las características dasométricas de los árboles (altura, diámetro y volumen), con consecuencias en la producción maderable (Palahí, 2004, Martínez *et al.*, 2007). Los muérdagos son agentes parásitos con gran influencia sobre el crecimiento de los árboles, son muy comunes en los bosques de coníferas de México, ocupan el segundo lugar como agente destructor después de los descortezadores; sin embargo, no se cuenta con información suficiente sobre el comportamiento del crecimiento de árboles infestados (Hawksworth, 1977; Andrade y Gibrián, 1980; Madrigal y Vázquez, 1998; Madrigal y Vázquez, 2005).

El síntoma más evidente del muérdago es la formación de "escoba de bruja" y protuberancias en la base de las ramas (Hawksworth, 1978). *Arceuthobium vaginatum* (Willd.) Presl. subsp. *vaginatum* (muérdago enano) y los efectos de su parasitismo se resumen en la pérdida de crecimiento, incremento de mortalidad en la masa arbolada, disminución de la producción de semilla, baja calidad de la madera y aumento de la susceptibilidad al ataque de insectos y hongos (Vázquez y Madrigal, 2005; Ried y Shamoun, 2009).

Hawksworth (1977) observó que en *Pinus ponderosa* Douglas ex C. Lawson de 140 años, el crecimiento en altura y volumen se redujo, significativamente, con los grados de infestación 4, 5 y 6; mientras que la producción de conos y semillas en *Pinus jeffreyi* Grev. & Balf disminuyó hasta en 20 %.

En los últimos cincuenta años diversos autores han determinado que la madera de árboles afectados por muérdago tiene menor contenido de humedad y peso específico, traqueidas cortas y distorsionadas, además de un mayor número de rayos; en consecuencia se reduce su calidad y empobrecen las características de la pulpa (Stanton, 2006; Piirto *et al.*, 1974; Hunt, 1971; Hawksworth, 1961; Wellwood, 1956). Sin embargo, el efecto en el crecimiento y productividad de las especies dañadas es poco conocido.

En México se estima que la superficie infestada por plantas parásitas y hemiparásitas es de 1 800 000 ha, con pérdidas anuales de 2 000 000 m³ de madera en rollo (Vázquez, 1998). El efecto más común de la infestación por muérdago enano es la reducción en el crecimiento de los árboles infestados que depende de la intensidad del ataque (Andrade y Gibrián, 1980).

En un estudio realizado en Michoacán en *Pinus pseudostrubus* Lindl. parasitado con *Arceuthobium globosum* Hawksw. & Wiens se determinó una disminución del incremento corriente anual (ICA) en volumen para árboles dominantes de 33 y 27 %, en los grados de infestación 5 y 6; en árboles codominantes, los valores más bajos de ICA se obtuvieron en los grados 1, 2 y 3;

Introduction

The ecological site conditions (altitude, soil, climate, water, parasites) affect tree characteristics (height, diameter and volume), with consequences on timber production (Palahí, 2004; Martínez *et al.*, 2007). Mistletoes are parasitic agents with great influence on the growth of trees and although they are very common in the coniferous forests of Mexico, and they rank second as destructive agent after the debarking insects; however, there is insufficient information on the growth behavior of infested trees (Hawksworth, 1977; Andrade and Cibrián, 1980; Madrigal and Vázquez, 1998; Madrigal and Vázquez, 2005).

The most obvious symptom of mistletoe is the formation of "brooms" and bumps on the base of the branches (Hawksworth, 1978). *Arceuthobium vaginatum* (Willd.) Presl. subsp. *vaginatum* (dwarf mistletoe) and the effects of parasitism in the forests can be summarized as loss of growth, increased mortality in the wooded mass, decreased seed production, low wood quality and increased susceptibility to attack insects and fungi (Vázquez and Madrigal, 2005; Ried and Shamoun, 2009).

Hawksworth (1977) noted that in 140 years-old *Pinus ponderosa* Douglas ex C. Lawson, growth in height and volume was significantly reduced with the 4, 5 and 6 infestation grades; moreover, while the production of cones and seeds in *Pinus jeffreyi* Grev. & Balf was reduced in 20 %.

In the past 50 years several authors have determined that the wood of affected trees by mistletoe has lower moisture content and specific weight, shorter and distorted tracheids, and a greater number of rays; consequently, its quality is diminished and the characteristics of the pulp become poorer (Stanton, 2006; Piirto *et al.*, 1974; Hunt, 1971; Hawksworth, 1961; Wellwood, 1956). However the effect on growth and productivity of the affected species is little known.

In Mexico it is estimated that the infested area by parasitic plants and hemiparasites is about 1.8 million ha, with annual losses of 2 million m³ of roundwood (Vázquez, 1998). The most common effect of dwarf mistletoe infestation is the reduction in growth of infested trees, which depends on the intensity of the attack (Andrade and Gibrián, 1980).

In a study conducted in Michoacán in *Pinus pseudostrubus* Lindl. parasitized with *Arceuthobium globosum* Hawksw. & Wiens it was determined that it decreased current annual increment (ICA) by volume for dominant trees from 33 and 27 % infestation in grades 5 and 6; in codominant trees, ICA values were obtained in grades 1, 2 and 3; and in the suppressed, the highest (74 %) was observed on trees with grade 4, so that the technical rotation for lumber lasted five years (Madrigal and Vázquez, 1998). *Pinus pringlei* Shaw individuals infested by real mistletoe

mientras que en árboles suprimidos el más alto (74 %) se observó con el grado 4, por lo que el turno técnico para madera aserrada se prolongó cinco años (Madrigal y Vázquez 1998). Individuos de *Pinus pringlei* Shaw infestados por muérdago verdadero (*Psittacanthus macrantherus* Eichler) registraron una diferencia entre árboles sanos e infestados de 12.5, 7 y 9 % en altura, diámetro y volumen, respectivamente (Madrigal y Vázquez, 2005), lo anterior evidencia que el parasito afecta el diámetro en menor escala, en comparación con la altura.

La evaluación del impacto de agentes externos sobre las variables estructurales de los árboles requiere la realización de un monitoreo continuo del fenómeno; sin embargo, ante la carencia de series de tiempo o sitios permanentes de monitoreo, la medición de algunas como la longitud de los últimos 5, 10 o 15 anillos puede utilizarse para proyectar la tendencia de las curvas de incrementos y aproximar máximos de crecimiento. No obstante, la técnica más recomendada es la reconstrucción del desarrollo del árbol a través de análisis troncales (Clutter *et al.*, 1983). Dicha técnica aplica un método destructivo, aunque es posible efectuarla a la par de las actividades de manejo y aprovechamiento de los bosques.

El presente estudio se llevó a cabo en la región del parque nacional Volcán Nevado de Colima para evaluar el efecto de *Arceuthobium vaginatum* Willdenow sobre el crecimiento e incremento en altura, diámetro normal y volumen de árboles de *Pinus hartwegii*, mediante análisis troncales en árboles sanos y árboles infestados en un rodal natural.

Materiales y Métodos

La investigación se hizo en la región del parque nacional Volcán Nevado de Colima, el cual está ubicado en el sureste de Jalisco y norte de Colima, en las coordenadas geográficas 19°27'15" y 19°35'09" N y 103°34'38" y 103°39'04" O, con una superficie de 7 742.79 ha. En el área de influencia se reconocen cuatro tipos de clima: frío subhúmedo; semifrío con verano fresco, corto y subhúmedo; semifrío con verano fresco, largo y subhúmedo; y el semifrío con verano fresco, largo e intermedio. Las unidades edafológicas más importantes del parque son Regosol (35.83 %), Litosol (31.73 %), Andosol (26.73 %) y Cambisol (5.71 %) (Cetenal, 1972); el tipo de vegetación en la zona es de bosque templado, y en regiones de transición bosque tropical caducifolio (Rzedowski, 1978).

En mayo de 2007 se identificó un rodal puro de *Pinus hartwegii* sin manejo silvícola, por lo que no existen evidencias de control de la densidad. Se seleccionaron 18 árboles dominantes con edades entre 30 y 40 años, nueve sanos y nueve infestados con grado de infección (GI) 6, de acuerdo con la metodología de Hawksworth (1977). Ambos tipos se localizaron en un solo rodal y se procuró que correspondieran a la misma calidad de estación. De cada individuo se consideró el diámetro a la altura

(*Psittacanthus macrantherus* Eichler) recorded a difference between healthy and infested trees of 12.5, 7 and 9 % in height, diameter and volume, respectively (Madrigal and Vázquez, 2005), which makes it evident that the parasite affects the diameter in a smaller scale, compared to height.

The assessment of the impact of the external agents upon the structural variables of the trees demands the accomplishment of a continuous monitoring of the phenomenon; however, on the face of the lack of time series or permanent monitoring plots, the measurements of some of them such as the length of the last 5, 10 or 15 growth rings may be used to make a projection of the tendency of the curves of increments and approach growth maxima. Nevertheless, the most frequent technique is to reconstruct the development of the tree through trunk analyses (Clutter *et al.*, 1983). It applies a destructive method, even though it is possible to carry it out simultaneously with forest management and harvest activities.

The actual study was achieved in the *Nevado de Colima* National Park to assess the effect of *Arceuthobium vaginatum* Willdenow over the growth and increment in height, normal diameter and tree volume of *Pinus hartwegii*, by trunk analyses in healthy and infested trees in a natural stand.

Materials and Methods

The study was conducted in the region of *Nevado de Colima* Volcano National Park, which is located in the southeast *Jalisco* and north *Colima*, at 19°27'15" and 19°35'09" N and 103°34'38" and 103°39'04" geographic coordinates, with an area of 7 742.79 ha. In the area of influence, four types of climate are recognized: cold humid; temperate with cool, short and humid summer; temperate with cool, humid long summer; and temperate with cool summer, long and intermediate. The major soil units of the park are Regosol (35.83 %), Litosol (31.73 %), Andosol (26.73 %) and Cambisol (5.71 %) (Cetenal, 1972); the type of vegetation in the area is temperate forest, and in transitional regions, deciduous forest (Rzedowski, 1978).

In May 2007 a pure stand of *Pinus hartwegii* without silvicultural management was identified, so there is no evidence of density control. Based on Hawksworth's methodology (1977), 18 dominant trees aged between 30 and 40 years, nine healthy and nine infested with a 6 degree of infection (GI, for its acronym in Spanish), were selected. Both were located in the same stand and tried to correspond to the same quality of season. Each individual diameter at breast height (1.30 m), total height and bark thickness was considered. They were later felled to make stem analysis (Mas-Porrás, 1970; FPC, 1998).



del pecho (1.30 m), altura total y grosor de corteza. Posteriormente, fueron derribados para realizar análisis troncales (Mas-Porrás, 1970; FPC, 1998).

Las rodajas de cada árbol fueron cepilladas y pulidas para determinar el crecimiento en diámetro, en períodos de cinco años. El conteo de anillos fue regresivo, de afuera hacia la médula, con la finalidad de conservar los períodos establecidos y así contar con los anillos internos de cada árbol en estudio.

La altura se obtuvo a partir de la suma de la longitud de cada troza, más la longitud de la punta, estimada geométricamente por medio de las relaciones que guarda el área de dos secciones transversales del paraboloides con la altura de la sección menor y la altura total (Romahn *et al.*, 1987).

Las formas funcionales evaluadas fueron las ecuaciones de Schumacher (Schumacher, 1939) y Chapman-Richards (Peinar y Turnbull, 1973), las cuales se expresan como sigue:

$$Y = \beta_1 e^{-\beta_2 E^{-1}} \quad \text{Schumacher}$$

$$Y = \beta_1 \left[1 - e^{-\beta_2 E^{-1}} \right]^{\beta_3} \quad \text{Chapman - Richards}$$

Donde:

Y =	Altura, diámetro o volumen
E =	Edad (años)
$\beta_1, \beta_2, \beta_3$ =	Parámetros de regresión
e =	2.7182

Se definió la influencia del muérdago en el crecimiento en altura, diámetro y volumen, así como en el incremento corriente anual (ICA) y el incremento medio anual (IMA) para cada una de las variables. La información se analizó mediante la técnica estadística de regresión, con el paquete *Statistical Analysis System*® V8 (SAS, 2000), por el procedimiento no lineal (NLIN) y con el método sin uso de derivadas (DUD).

Se probaron los modelos *Schumacher* y *Chapman-Richards* por su buen ajuste en otros trabajos realizados en especies de pino de Michoacán (Madrigal y Vázquez, 1998) y se construyeron las curvas de crecimiento en altura, diámetro y volumen de tipo anamórfico, mediante la curva guía.

A partir de los modelos resultantes se generó la segunda derivada parcial, con respecto a la edad y se igualaron a cero, para obtener la edad de culminación del incremento de los árboles sanos y enfermos y determinar el efecto del muérdago enano en el ICA e IMA.

The slices of each tree were brushed and polished to determine diameter growth in periods of five years. The ring count was regressive, from the outside to the core, in order to preserve the established periods and thus have inner rings of each tree in the study.

Height is obtained from the sum of the length of each log, plus the length of the tip, through geometrically estimated relations of the area of two cross sections of the paraboloid to the height of the lower section and total height (Romahn *et al.*, 1987).

The assessed functional forms were Schumacher's (Schumacher, 1939) and Chapman-Richards' equations (Peinar and Turnbull, 1973), which are expressed as follows:

$$Y = \beta_1 e^{-\beta_2 E^{-1}} \quad \text{Schumacher}$$

$$Y = \beta_1 \left[1 - e^{-\beta_2 E^{-1}} \right]^{\beta_3} \quad \text{Chapman - Richards}$$

Where:

Y =	Height, diameter or volume
E =	Age (years)
$\beta_1, \beta_2, \beta_3$ =	Regression parameters
e =	2.7182

The influence of mistletoe was defined in terms of height, diameter and volume growth, as well as in the Current Annual Increment (ICA, for its acronym in Spanish) and the Mean Annual Increment (IMA, for its acronym in Spanish) for each one of the variables. The information was analyzed by regression, with the *Statistical Analysis System*® V8 (SAS, 2000) by the non-linear procedure (NLIN) and with the method that does not use derivatives (DUD).

Schumacher's and Chapman-Richards' equations were tested for their good fit in other works made in pine species of Michoacán (Madrigal and Vázquez, 1998) and by the guide curve the growth curves of anamorphic type in height, diameter and volume were constructed.

From the resulting models, the second partial derivative referent to age was obtained, and they were equaled to zero, in order to determine the age of increment culmination of healthy and diseased trees and find the effect of dwarf mistletoe on ICA and IMA.

Results and Discussion

Figure 1 shows an example of the dispersal of pairs of age-height data obtained from trunk analyses for healthy trees. The fitting of the models were made after the data normality tests were applied and the dispersal of their residuals. In Figure 2 it can be observed that residuals do not have any tendency.



Resultados y Discusión

La Figura 1 muestra un ejemplo de la dispersión de los pares de datos edad-altura obtenidos de los análisis troncales para árboles sanos. Los ajustes de los modelos se hicieron después de la aplicación de las pruebas de normalidad de los datos y la dispersión de sus residuales. En la Figura 2 se observa que los residuales no presentan tendencia alguna. Adicionalmente, el análisis de la información evidenció una distribución normal con varianza constante. Este comportamiento fue similar para el diámetro y el volumen, tanto para los árboles sanos como para los infestados.

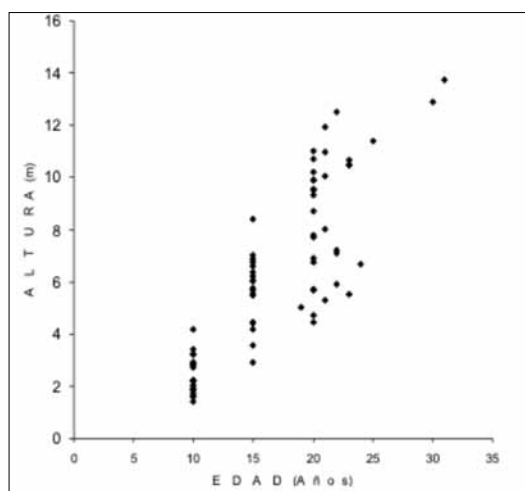


Figura 1. Edad y altura de árboles sanos de *Pinus hartwegii* Lindl.

Figure 1. Age and height of healthy *Pinus hartwegii* Lindl. trees.

En el Cuadro 1 se resumen los resultados más relevantes del análisis de varianza no lineal. Los valores de la Pseudo R^2 de todos los modelos para las tres variables son estadísticamente aceptables (superiores a 0.9 para árboles sanos a 0.67 para los árboles infestados). La diferencia en el ajuste del coeficiente de determinación entre los dos tipos de árboles puede deberse al efecto de irregularidad en el crecimiento en diámetro y altura, el cual resulta por la infección de muérdago desde las etapas iniciales de crecimiento de los individuos.

La prueba de F de Snedecor indicó que existe una alta significancia en los modelos para las tres variables ($P \geq 0.05$), mientras que el resto de los estadísticos de prueba (suma de cuadrados, coeficientes de variación e intervalos de confianza) tuvieron valores aceptables en todos los modelos; por lo tanto, se asume que ambos, con el método de curva guía son útiles para el análisis de variables estructurales de crecimiento para *Pinus hartwegii* en el Nevado de Colima. Sin embargo, los modelos ajustados con la ecuación de Schumacher presentaron valores ligeramente superiores, en todos los estadísticos de prueba; por lo tanto, fue seleccionado para la construcción final de las curvas de crecimiento, ICA e IMA (Cuadro 2).

Additionally, the information analysis made evident a normal distribution with a constant variance. This behavior was similar for the diameter and the volume, for healthy and infested trees.

In Table 1 are summarized the most relevant results from the non-linear analysis of variance. The Pseudo R^2 values of all the models for the three variables are statistically acceptable (over 0.9 for healthy trees and 0.67 for infested trees).

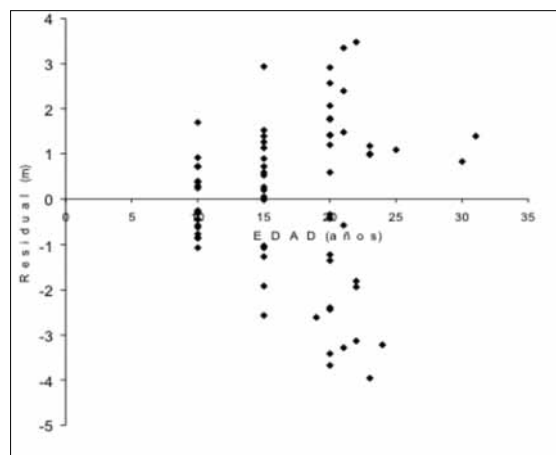


Figura 2. Dispersión de residuales de edad-altura de árboles sanos de *Pinus hartwegii* Lindl.

Figure 2. Age-height residuals dispersal of healthy *Pinus hartwegii* Lindl. trees.

The difference of fit of the determination coefficient between the two kinds of trees may be due to the effect of irregularity in diametric and height growth, which results from the mistletoe infection since the initial growth stages of trees.

The Snedecor F test indicated that there is a high significance in the models for all three variables ($p \geq 0.05$), while the other test statistics (sum of squares, coefficients of variation and confidence intervals) showed acceptable values on all models; so it is assumed that both models, with the guide curve method are useful for the analysis of structural variables of growth in *Pinus hartwegii* the Nevado de Colima. However, the models fitted with the equation of Schumacher showed significantly higher values in all test statistics; Therefore, it was selected for the final construction of the growth curves, ICA and IMA (Table 2).

The ICA and IMA interception curves represent a maximum biological growth in the tree structure, so technically, it is for an appropriate time to carry out interventions to the forest, in order to promote better production. The first one, indicated by the height increment curves is applied to promote growth in height and diameter, as water, light and nutrients were redistributed, while the second intervention, evidenced by the diameter, is important to shape the woodland; and the third will be made

Cuadro 1. Análisis de regresión no lineal para las variables altura, diámetro y volumen de árboles sanos (0) e infectados (1) de *Pinus hartwegii* Lindl.

Table 1. Non-linear analysis of regression for the height, diameter and volumen variables of *Pinus hartwegii* Lindl. healthy trees (0) and infected trees (1).

Modelo	G.L.	Suma de cuadrados		F cal.	Coef. Reg. Estim.			CV de estimadores			Interv. de confian.		Pseudo R ²
		Regresión	Residual		β ₀	β ₁	β ₂	β ₀	β ₁	β ₂	Inferior	Superior	
Altura													
Schumacher 0	32	2 027.40	36.60	886.36	34.39	25.57		11.42	8.26		26.384	42.386	0.90
Chap-Rich 0	31	2 027.76	36.19	577.71	14.44	0.134	5.74	21.72	38.19	53.24	8.042	20.841	0.9
Schumacher 1	35	1 439.1	96.77	719.60	26.48	26.57		17.58	13.35		17.027	35.930	0.71
Chap-Rich 1	34	1 452.26	83.66	196.78	86.32	0.011	1.56	1 125	527	60	-1 881.3	2 053.99	0.75
Diámetro													
Schumacher 0	32	5 408.39	56.99	1 526.59	55.16	25.23		8.65	6.32		45.441	64.87	0.94
Chap-Rich 0	31	5 407.98	57.11	979.71	26.64	0.11	4.33	24.74	38.18	41.57	13.202	40.071	0.94
Schumacher 1	35	5 935.94	518.09	199.46	48.89	25.01		19.60	15.63		30.034	69.741	0.67
Chap-Rich 1	34	5 941.13	512.96	131.26	24.17	0.117	5.02	26.73	51.54	72.34	11.043	37.302	0.67
Volumen linealizado													
Schumacher 0	32	70.35	4.53	497.05	2.623	67.43							0.94
Schumacher 1	35	57.5	15.27	127.99	0.87	57.71							0.78

G.L. = Grados de libertad; F cal. = F calculada; Coef. Reg. Estim. = Coeficientes de regresión estimados; CV = Coeficiente de variación; Interv. de confian.= Intervalos de confianza.

G.L. = Degrees of freedom; F cal. = calculated F; Coef. Reg. Estim. = Estimated coefficients of regression; CV = Coefficients of variation; Interv. de confian.= Confidence intervals.

Cuadro 2. Ecuaciones de crecimiento e incremento en altura, diámetro y volumen ajustadas con el modelo de Schumacher.

Table 2. Growth and height, diameter and volume increment fitted with the Schumacher model.

Ecuación	Crecimiento	Incremento corriente anual (ICA)	Incremento medio anual (IMA)
Altura			
Infestados	$H = 26.4788e^{-26.5661E^{-1}}$	$ICA = 26.4788 * 26.5661 [e^{-26.5661E^{-1}}] E^{-2}$	$IMA = \frac{26.4788e^{-26.5661E^{-1}}}{E}$
Sanos	$H = 34.3849e^{-25.5666E^{-1}}$	$ICA = 34.3849 * 25.5666 [e^{-25.5666E^{-1}}] E^{-2}$	$IMA = \frac{34.3849e^{-25.5666E^{-1}}}{E}$
Diámetro			
Infestados	$D = 49.8877e^{-25.0101E^{-1}}$	$ICA = 49.8877 * 25.0101 [e^{-25.0101E^{-1}}] E^{-2}$	$IMA = \frac{49.8877e^{-25.0101E^{-1}}}{E}$
Sanos	$D = 55.1554e^{-25.2253E^{-1}}$	$ICA = 55.1554 * 25.2253 [e^{-25.2253E^{-1}}] E^{-2}$	$IMA = \frac{55.1554e^{-25.2253E^{-1}}}{E}$
Volumen			
Infestados	$V = 0.8704e^{-57.7100E^{-1}}$	$ICA = 0.8704 * 57.7100 [e^{-57.7100E^{-1}}] E^{-2}$	$IMA = \frac{0.8704e^{-57.7100E^{-1}}}{E}$
Sanos	$V = 2.6232e^{-67.4251E^{-1}}$	$ICA = 2.6232 * 67.4251 [e^{-67.4251E^{-1}}] E^{-2}$	$IMA = \frac{2.6232e^{-67.4251E^{-1}}}{E}$

La intercepción de las curvas de ICA e IMA representa un máximo crecimiento biológico en la estructura del árbol, por lo que técnicamente corresponde a un momento apropiado para llevar a cabo intervenciones al bosque, con la finalidad de promover una mejor producción. La primera de ellas, señalada por las curvas de incremento en altura, se aplica para favorecer el crecimiento en altura y diámetro, ya que se redistribuyen el agua, luz y nutrientes; mientras que la segunda intervención, evidenciada por el diámetro, es importante para dar forma a la masa forestal; y la tercera se efectuará cuando llega el turno biológico de la masa forestal, al igualarse los incrementos en volumen (Hocker, 1979; Smith, 1986).

El análisis comparativo de los modelos de crecimiento e incremento en altura indicó que los individuos infestados redujeron su crecimiento en 22 % (Figura 3), el incremento corriente en 19 %; y el incremento medio anual en 24 % (Figura 4). Este decremento disminuye en 10 años la intercepción en las curvas de incremento (ICA e IMA) en los árboles infestados, y, en consecuencia la primera intervención de manejo se desfasa el mismo lapso.

when the biological rotation of forests takes place, by matching the volumetric increments (Hocker, 1979; Smith, 1986).

The comparative analysis of growth patterns and increment in height indicated that the infested individuals reduced their growth by 22 % (Figure 3), the current increase in 19 % and the average annual increase in 24 % (Figure 4). This decrease lowers in 10 years the interception of the increment curves (ICA and IMA) in infested trees; hence, the first management intervention phases out the same time.

In the analysis of growth and increase in diameter, the effect of the mistletoe infestation was lower than in the case of height, with a 9 % reduction in growth compared to controls (Figure 5); 11 % in the current annual increment and 10 % average annual increment (Figure 6). A gap of seven years at the intersection of the curves of ICA and IMA infested trees, compared with healthy trees, which suggests a technical delay in the second intervention in the management of woodland (Figure 6).

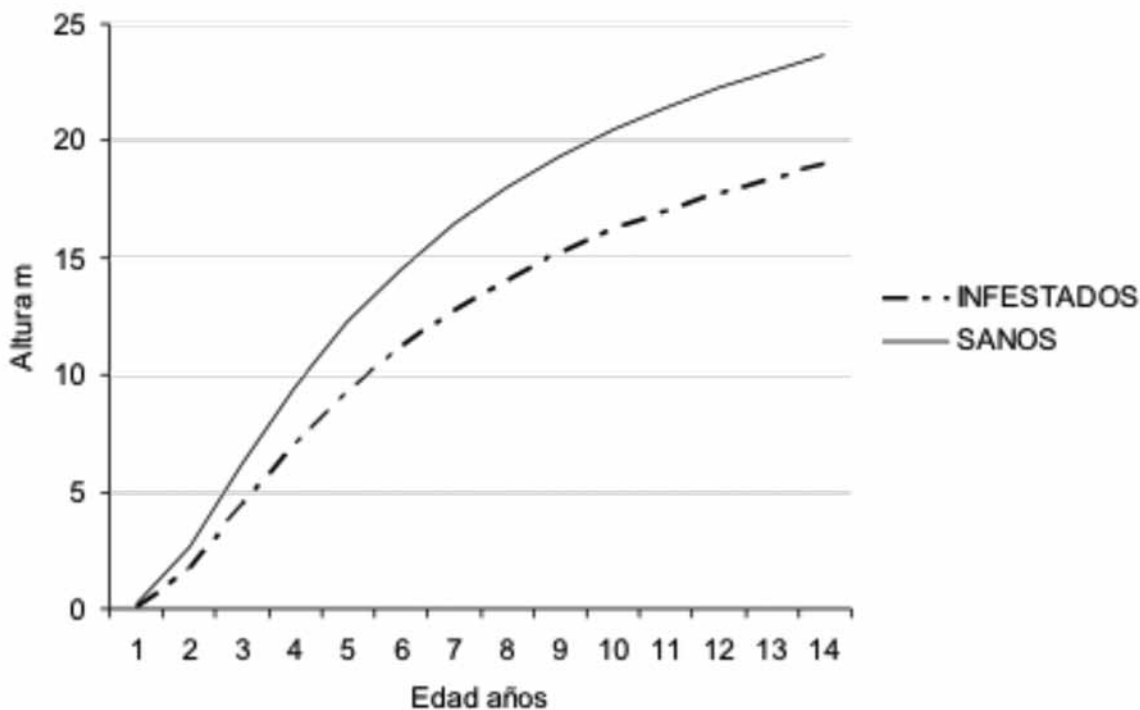


Figura 3. Crecimiento en altura de árboles sanos e infectados de *Pinus hartwegii* Lindl.
 Figure 3. Growth in height of healthy and infested *Pinus hartwegii* Lindl. trees.



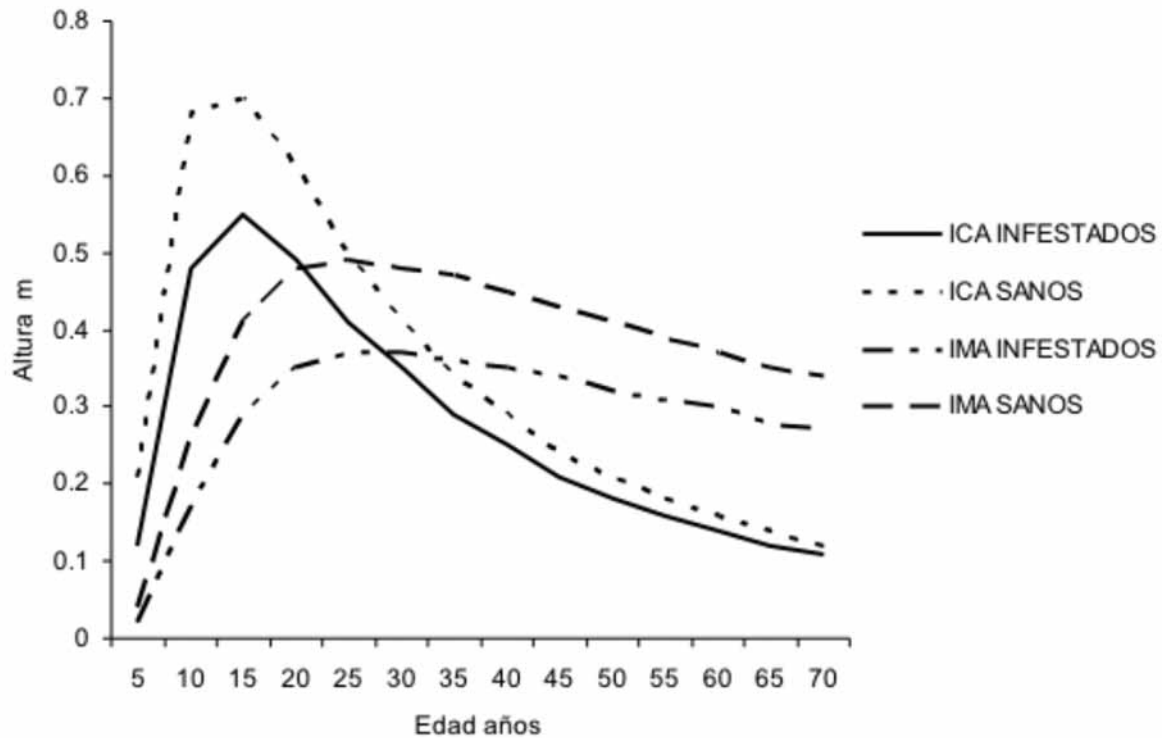


Figura 4. Incremento corriente anual e Incremento medio anual en altura de árboles sanos e infectados de *Pinus hartwegii* Lindl.

Figure 4. Current annual increment and mean annual increment in height of healthy and infected *Pinus hartwegii* Lindl. trees.

En el análisis de crecimiento e incremento en diámetro, el efecto por la infestación de muérdago fue menor que en el caso de la altura, con una disminución de 9 % en el crecimiento, con respecto a los sanos (Figura 5); de 11 %, en el incremento corriente anual; y de 10 % en el incremento medio anual (Figura 6). Se observó un desfase de 7 años en la intersección de las curvas de ICA e IMA de los ejemplares infestados, en comparación con los árboles sanos, lo cual sugiere un retraso técnico en la segunda intervención en el manejo del arbolado (Figura 6).

La estimación del volumen se realizó mediante las variables diámetro y altura en una función de producción para la especie en estudio. La Figura 7 exhibe una reducción de hasta 50 % en el crecimiento en volumen, considerando el turno técnico de los árboles. Por su parte, la Figura 8 muestra un decremento de 51 % en ICA y de 48 % en el IMA, lo cual refleja pérdidas considerables en el volumen de madera para los árboles infestados. Asimismo, se observó un aumento de 10 años en el turno técnico maderable de estos últimos.

El comportamiento de las tres variables coincide con observaciones realizadas por Hawksworth (1978) quien determinó que la presencia de muérdago ocasiona que el crecimiento en las plantas infectadas se reduzca, y que la disminución en

Volume estimation was performed using diameter and height in a production function for the species under study. Figure 7 shows a reduction of 50 % by volume growth, considering the technical rotation of the trees. Meanwhile, Figure 8 shows a decrease of 51 % in ICA and 48 % in the IMA, reflecting substantial losses in the amount of wood of the infested trees. Also, an increase of 10 years in the timber technical rotation of the latter.

The behavior of the three variables coincides with observations made by Hawksworth (1978) who found that the infection of these plants cause reduced growth, and that the decrease in height is greater than in diameter. Also, the first is similar to that recorded by Hawksworth and Wiens (1996), authors who argue that the effect in diameter is presented in GI 3 or higher infection degrees, and that the involvement is usually in a lower proportion compared to height.



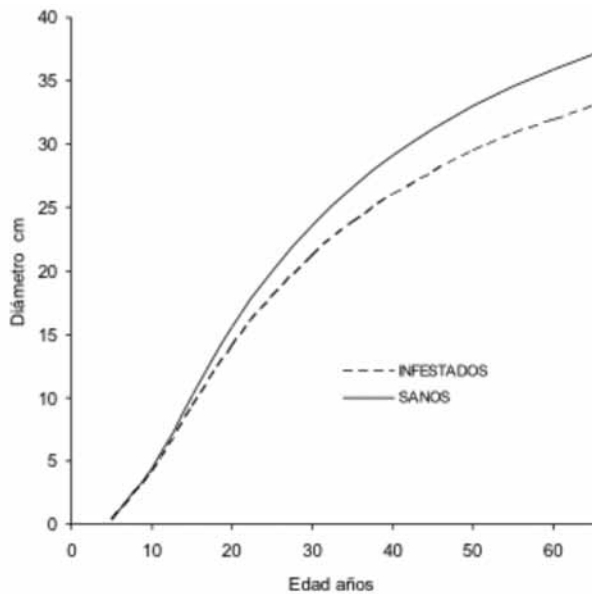


Figura 5. Crecimiento en diámetro de árboles sanos e infectados de *Pinus hartwegii* Lindl.
 Figure 5. Diameter growth in healthy and infected *Pinus hartwegii* Lindl. trees.

altura sea mayor que en diámetro. Además, la primera es similar a la citada por Hawksworth y Wiens (1996), autores que sostienen que el efecto en diámetro se observa en los grados de infección GI 3 o superiores, y que la afectación suele ser de menor proporción, en comparación con la altura.

En diversas investigaciones se ha documentado que el menor incremento en diámetro en un periodo de 10 años es de 10 % para el GI 4, de 30 % para GI 5 y de 50 % o más para el GI 6 (Wicker y Hawksworth, 1988), a diferencia de lo registrado en *P. hartwegii* para el GI 6 en el área de estudio, cuya reducción de incremento en diámetro fue de 10 %. En general, los efectos de los muérdagos enanos en la altura son mayores y se pueden detectar a más temprana edad (Hawksworth *et al.*, 1992).

Trabajos similares en el Estado de México con *Pinus hartwegii* consignan que el crecimiento en altura y diámetro se redujo en 47 y 22 %, respectivamente, en comparación con árboles sanos (Andrade y Cibrián, 1980), mientras que *Pinus pseudostrobus* infectado con muérdago enano, en la Comunidad Indígena de San Juan Nuevo Parangaricutiro, Michoacán, el incremento corriente anual (ICA) en volumen disminuyó 33 y 27 % (Madriral y Vázquez, 1998).

Con base en lo antes expuesto es evidente que el muérdago reduce los crecimientos e incrementos entre 20 y 50 %, y que, a medida que el grado de infección es mayor, el decremento

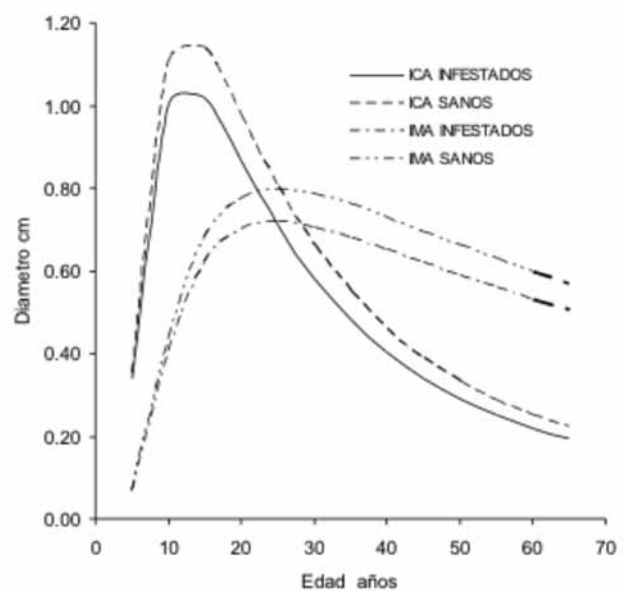


Figura 6. Incremento corriente anual e Incremento medio anual en diámetro de árboles sanos e infectados de *Pinus hartwegii* Lindl.
 Figure 6. Current annual increment and mean annual increment in diameter of healthy and infected *Pinus hartwegii* Lindl. trees.

Various investigations have documented that the smallest increase in diameter over a period of 10 years is 10 % for GI 4, 30 % for GI 5 and up to 50 % or more for the GI 6 (Wicker and Hawksworth, 1988) unlike the numbers recorded in *P. hartwegii* for GI 6 in the study area, which had a reduction in the diameter increment of 10 %. In general, the effects of dwarf mistletoe on height are larger and can be detected at an earlier age (Hawksworth *et al.*, 1992).

Similar works in the State of Mexico with *Pinus hartwegii* recorded that growth in height and diameter was reduced by 47 and 22 %, respectively, compared to healthy trees (Andrade and Cibrián, 1980), whereas in *Pinus pseudostrobus* of San Juan Nuevo Parangaricutiro Indigenous Community, Michoacán, the current annual increment (ICA) in volume decreased 33 and 27 % in the presence of dwarf mistletoe (Madriral and Vázquez, 1998).

Based on the aforementioned reasons it is clear that mistletoe reduces growth and increases between 20 and 50 %, and, as the degree of infection is greater, the decrease is accentuated faster, impacting significantly on production as well as technical rotations for forestry management.



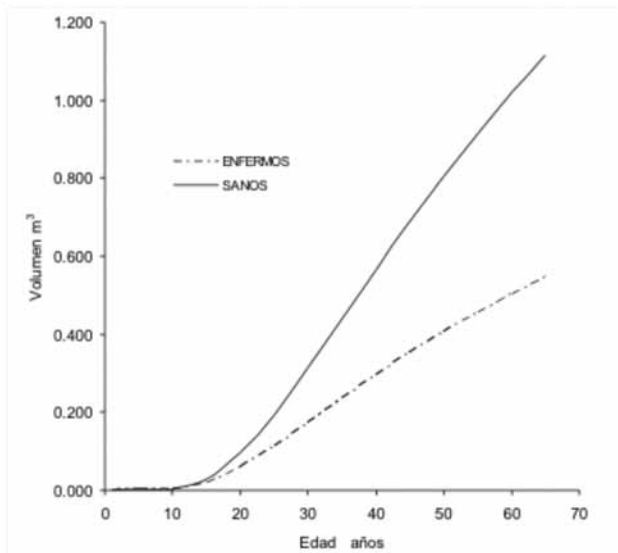


Figura 7. Crecimiento en volumen de árboles sanos e infectados de *Pinus hartwegii* Lindl.

Figure 7. Growth in volume of healthy and infected *Pinus hartwegii* Lindl. trees.

se acentúa con más rapidez, lo que incide considerablemente en la producción, así como en los turnos técnicos para el manejo silvícola.

La reducción tanto en el crecimiento como en el incremento en volumen fue de aproximadamente 50 %, en consecuencia, el turno maderable aumentó; por lo que es necesario implementar prácticas de manejo para el control de la severidad y dispersión de la planta parásita, las cuales parecen estar íntimamente relacionadas con la estructura de los rodales (Stanton, 2006). En la literatura hay registros de que la abundancia del muérdago y la severidad de la infección se incrementan en los bosques fragmentados, y en las partes basales de las copas de los árboles (Baker y Guyon, 2010; López *et al.*, 2002).

Dado que la estructura de los rodales juega un papel importante en la severidad y abundancia del muérdago, el control químico o la remoción del parásito suelen ser acciones poco efectivas (Baker y Guyon, 2010; Ried y Shamoun, 2009). Ante esto, lo más recomendable es realizar prácticas silvícolas, entre ellas, los aclareos han resultado ser las mejores para disminuir la infección (Ried y Shamoun, 2009). Adicionalmente, las quemas controladas contribuyen a lograr ese propósito (Hessburg *et al.*, 2008).

Sería conveniente establecer sitios permanentes de investigación en rodales infestados con *Arceuthobium vaginatum* subsp. *vaginatum*, con la finalidad de hacer observaciones sucesivas sobre la velocidad del grado de infección en árboles y en rodales. Estos sitios permitirían evaluar otras variables en relación con

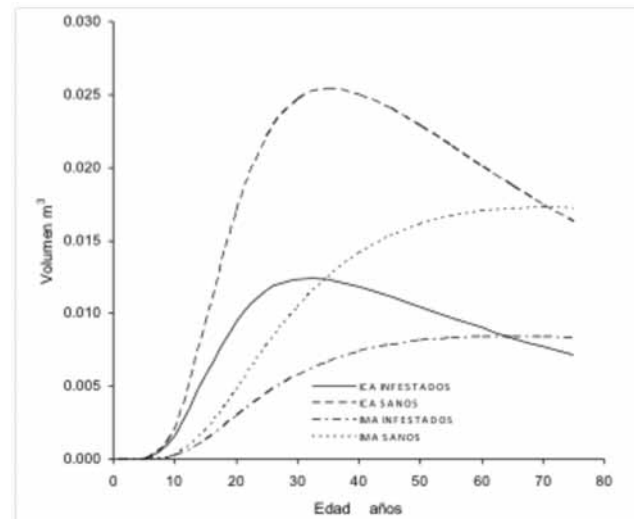


Figura 8. Incremento corriente anual e Incremento medio anual en volumen de árboles sanos e infectados de *Pinus hartwegii* Lindl.

Figure 8. Current Annual Increment and Average Annual Increment in volume of healthy and infected *Pinus hartwegii* Lindl. trees.

The reduction of both the growth and the increment in volume was around 50 %, raising the timber technical rotation, which makes it is necessary to implement management practices to control the severity and spread of the parasitic plant, which appear to be closely related to the structure of the stands (Stanton, 2006). There are records in literature that mistletoe abundance and severity of infection increases in fragmented forests, and in the basal parts of the treetops (Baker and Guyon, 2010; López *et al.*, 2002).

Since the stand structure plays an important role in the severity and abundance of mistletoe, chemical control or removal of the parasite often become ineffective practices (Baker and Guyon, 2010; Ried and Shamoun, 2009). On the face of it, the best thing is to make forestry practices, including thinnings, as they have proven to be the best to decrease infection (Ried and Shamoun, 2009). Additionally, controlled burning is a practice that contributes to achieve this purpose (Hessburg *et al.*, 2008).

It would be desirable to establish permanent research sites in stands infested with *Auceuthobium vaginatum* subsp. *vaginatum*, in order to make successive observations on the speed of the degree of infection in trees and stands. These sites allow evaluating other variables regarding the presence of mistletoe, and tree density, impact on wildlife and some physiological host-parasite relationships.



la presencia de muérdago, como densidad de arbolado, impacto sobre fauna silvestre y algunas relaciones fisiológicas hospedero-parásito.

Conclusiones

Los modelos de *Chapman-Richards* y *Schumacher* mostraron ajuste estadísticamente aceptable con el procedimiento de la curva guía para modelar el crecimiento en diámetro, altura y volumen para árboles sanos e infestados de *Pinus hartwegii* en la región del Nevado de Colima; sin embargo, los infestados tienen valores con mayor variación en los estadísticos de prueba, lo cual responde al efecto de irregularidad en el crecimiento, tanto en diámetro como en altura causado por la infección de muérdago desde las etapas iniciales de crecimiento.

La infección por muérdago enano en *Pinus hartwegii* produce una reducción en crecimiento en altura de 22 %, y en diámetro un promedio de 9 %, lo que propicia una disminución del crecimiento en volumen de 50 %; por lo tanto el turno técnico del árbol se considera a edades en las que se alcanzan diámetros promedio de 35 cm.

Las reducciones en el incremento corriente anual e incremento medio anual fueron semejantes a las pérdidas del crecimiento. El efecto es de mayor intensidad en la altura, lo cual incide en la disminución considerable del volumen.

La incidencia de muérdago enano retrasa hasta en un periodo de diez años el turno técnico maderable para *Pinus hartwegii*.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

Contribución por autor

Martín Martínez Salvador: establecimiento del estudio, colecta de información, interpretación de resultados y coordinación en la elaboración del documento final; Salvador Madrigal Huendo: desarrollo de trabajo de campo, localización del arbolado y aplicación de análisis troncales; Ignacio Vázquez Collazo: determinación de los niveles de infestación por muérdago; Efraín Velasco Bautista: análisis de datos e información estadística; Carlos Raúl Morales Nieto: colaboración en la integración documental y estructuración y revisiones del manuscrito; Federico Villareal Guerrero: colaboración en la integración documental, estructuración del manuscrito y análisis de datos.

Referencias

Andrade E., V., D. Cibrián T. 1980. Evaluación de poblaciones de muérdago enano (*Arceuthobium globosum* Hawk. et Wiens y *A. vaginatum* Willd.) en bosques de *Pinus hartwegii* Lindl. en Zoquiapan, Estado de México. In: Memoria. Primer Simposio Nacional sobre Parasitología Forestal. 18 y 19 de febrero. Uruapan, Mich., México. 238 p.

Conclusions

The Chapman-Richards and Schumacher models showed a statistically acceptable fit by using the guide curve to model diameter, height and volume growth for healthy and infected *Pinus hartwegii* Lindl. trees in the Nevado de Colima region; however, the latter have values with a broader variation in the tested statisticals, which responds to the irregularity effect in growth, both in diameter and height caused by the infection by mistletoe since the initial growing stages.

In *Pinus hartwegii*, the infection by dwarf mistletoe produces a reduction in height growth of 22% and in diameter an average of 9%, which favors a lowering in volume growth of 50%; therefore, the technical rotation of the tree, at ages at which they reach average diameters of 35 cm.

The reductions in the current annual increment and average annual increment were similar to the loss in growth. The effect is even of higher intensity in height, which affects considerably volume.

The incidence of dwarf mistletoe delays ten years the wood technical rotation of *Pinus hartwegii*.

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests.

Contribution by author

Martín Martínez Salvador: establishment of the study, data collection, interpretation of results and organization of the final document; Salvador Madrigal Huendo: development of field work, finding of the trees and application of trunk analyses; Ignacio Vázquez Collazo: determination of infestation degrees by mistletoe; Efraín Velasco Bautista: data analysis and statistical information; Carlos Raúl Morales Nieto: cooperation in the integration of the document and structuring and review of the manuscript; Federico Villareal Guerrero: cooperation in the integration of the document and structuring of the manuscript and data analysis.

End of the English version



Baker, F. A. and J. Guyon. 2010. Distribution of Three Dwarf Mistletoe Species within Their Host Tree Crowns. *Western Journal of Applied Forestry* 25 (5): 194-198.

Centro de Estadística para el análisis del Territorio Nacional (Cetenal). 1972. *Carta de uso del suelo*. Escala 1:250 000. Cetenal. México, D.F., México. s/p.

- Clutter, J. L., J. C. Fortson, L. V. Pienaar, G. H. Brister and R. L. Bailey. 1983. Timber management: A quantitative approach. Wiley, New York, NY, USA. 333 p.
- Forest Productivity Council (FPC). 1998. Minimum Standards and Stem Analysis Procedures for Site Index Research. Victoria, BC, USA. 9 p.
- Hawksworth, F. G. 1977. The 6 class dwarf mistletoe rating system. USDA. FS. RM 48. Fort Collins, CO, USA. 6 p.
- Hawksworth, F. G. 1978. A comparative distribution of two mistletoes: *Arceuthobium divaricatum* and *Phoradendron juniperinum*. In: Symposium on dwarf mistletoe control through forest management. USDA Forest Service. April 11-13. Berkeley, CA, USA. pp. 62.
- Hawksworth, F. G. and D. Wiens. 1996. Dwarf mistletoes: biology, pathology and systematics. USDA FS. Agriculture Handbook. Washington, DC, USA. 79 p.
- Hawksworth, F. G., C. J. Williams, B. B. Eav, B. W. Geils, R. R. Johnson, M. A. Marsden, J. S. Beatty and J. D. Shubert. 1992. Interim dwarf mistletoe impact modeling system: user's guide and reference manual. USDA FS. Fort Collins, CO USA. Rep. MAG-91-3. 90 p.
- Hawksworth, F. G. 1961. Dwarf mistletoes of ponderosa pine in the Southwest. U.S. Dep. Agric. F.S Washington, DC USA. Tech. Bull. 1246. pp. 112 p.
- Hessburg, P. F., N. A. Povak and S. R. Brion. 2008. Thinning and prescribed fire effects on dwarf mistletoe severity in an eastern Cascade Range dry forest. Washington. Forest Ecology and Management 255 (7): 2907-2915.
- Hocker, H. W. 1979. Introduction to forest biology. John Wiley and Sons, Co. New York, NY, USA. 467p.
- Hunt, K. 1971. A comparison of Kraft pulping of sound and dwarf mistletoes infected Western hemlock wood. Canada Department of Fisheries and Forestry. Forest Products Laboratory. Vancouver, Canada. Inf. Rep. VP-X-78. 7 p.
- López-de Buen, L., J. Ornelas F. and J. García F. 2002. Mistletoe infection of trees located at fragmented forest edges in the cloud forests of Central Veracruz, Mexico. Forest Ecology and Management 164 (3): 293-302.
- Madrigal H., S. y I. Vázquez C. 1998. Efecto del parasitismo por muérdago enano, al crecimiento en diámetro de *Pinus pseudostrabus*. Lindl. en San Juan Nuevo, Mich. UMSNH Biológicas 4 (4): s/p.
- Madrigal H., S. y I. Vázquez C. 2005. Aplicación de análisis troncales para estimar altura y diámetro, en *Pinus pringlei*, infestados por *Pstittacanthus macrantherus*. In: VII Congreso Mexicano de Recursos Forestales. "La Ciencia y la Tecnología al Servicio de los Ecosistemas Forestales. Universidad Autónoma Chapingo. 26 al 28 de octubre. Chapingo, Edo. de Méx., México. pp. 266-267.
- Martínez S., M., S. Madrigal H., R. Armendáriz O. y A. Quiñónez C. 2007. Índice de sitio de *Pinus arizonica* Carr. en Guadalupe y Calvo, Chihuahua. INIFAP. NIFAP CIR Noroeste. Chihuahua, Chih. Folleto Científico Núm. 9. 29 p.
- Mas-Porrás, J. 1970. Instructivo para realizar análisis troncales. SAG, SFF, INIF. Boletín Divulgativo Núm. 23. México D.F., México. 10 p.
- Palahí, M., M. Tome, T. Pukkala, A. Trasobares and G. Montero. 2004. Site index model for *Pinus sylvestris* in north east Spain. Forest Ecology and Management 187: 35-47.
- Pienaar, L. V. and J. K. Turnbull. 1973. The Chapman-Richards generalization of Von Bertalanffy's growth model for basal area growth and yield in even-aged stands. Forest Science 19 (1):2-22.
- Piirto, D. D., L. C. Donald and E. T. Harry. 1974. The effects of dwarf mistletoe on the wood properties of loblolly pine. Wood and Fiber 6 (1):26-35.
- Reid, N. and S. F. Shamoun. 2009. Contrasting research approaches to managing mistletoes in commercial forests and wooded pastures. Botany 87 (9): 1-9.
- Romahn-De la Vega, V., H. Ramírez-M. y G. Treviño. 1987. Dendrometría. Universidad Autónoma Chapingo. División de Ciencias Forestales. Chapingo, Edo. de Méx. México. pp. 133-235.
- Rzedowski, J. 1978. Vegetación de México. Limusa. México, D.F., México. 432 p.
- Statistical Analysis System (SAS). 2000. SAS Ver. 8. North Carolina State University. Raleigh, NC USA. n/p.
- Schumacher, F. X. 1939. A new growth curve and its applications to timber yield studies. Journal of Forestry 37: 819-820.
- Stanton, S. 2006. The differential effects of dwarf mistletoe infection and broom abundance on the radial growth of managed ponderosa pine. Forest Ecology and Management 223: 318-326.
- Smith, D. M. 1986. The practice of silviculture. John Wiley and Sons. 8th edition. New York, NY, USA. 527 p.
- Vázquez C., I. 1998. Contribución al conocimiento del muérdago verdadero (*Pstittacanthus* spp.) en México. CIPAC. INIFAP. SARH. Uruapan, Mich., México. Boletín Técnico Núm. 11. 41 p.
- Vázquez C., I. y S. Madrigal H. 2005. Pérdida de volumen en *Pinus pringlei*, infestados por muérdago verdadero (*Pstittacanthus macrantherus*), en Michoacán. In: XIII Simposio Nacional de Parasitología Forestal. Conafor-Semarnat, Sagarpa-INIFAP. 24 al 26 de noviembre. Morelia, Mich., México. pp. 12-13.
- Wellwood, G. M. 1956. Dispersal of mistletoe by birds. The Wilson Bulletin 63 (4): 235-237.
- Wicker, E. F. and F. G. Hawksworth. 1988. Relationships of Dwarf Mistletoe and intermediate stand cultural practices in Northern Rockies. In: Schmidt, W.C. (comp). Proceedings, Future forest of the Mountain West: a stand cultural symposium, 1986. September 29 October 3. Gen. Tech. Rep. Int-243. USDA FS. Missoula, MT, USA. p. 402 p.

