

COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO EN CIENCIAS FORESTALES

**FENOLOGÍA Y CONTROL DE *Apolychrosis ferruginus*
MEDIANTE MANEJO NUTRIMENTAL DE SU
HOSPEDERO: *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco**

REYNOL FIERROS MATEO

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL

PARA OBTENER EL GRADO DE:

DOCTOR EN CIENCIAS

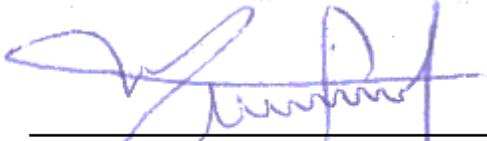
MONTECILLO, TEXCOCO, ESTADO DE MÉXICO

2021

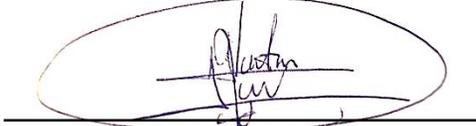
La presente tesis, titulada: “**Fenología y control de *Apolychrosis ferruginus* mediante manejo nutrimental de su hospedero: *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco**”, realizada por el alumno: Reynol Fierros Mateo, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

DOCTOR EN CIENCIAS
EN CIENCIAS FORESTALES

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO: 
Dr. Miguel Ángel López López

ASESOR: 
Dr. Víctor Manuel Cetina Alcalá

ASESOR: 
Dr. Valentín José Reyes Hernández

ASESOR: 
Dr. Armando Equihua Martínez

ASESOR: 
Dr. Gerónimo Quiñónez Barraza

Montecillo, Texcoco, Estado de México, septiembre de 2021

FENOLOGÍA Y CONTROL DE *Apolychrosis ferruginus* MEDIANTE MANEJO NUTRIMENTAL DE SU HOSPEDERO: *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco

Reynol Fierros Mateo, D. C.

Colegio de Postgraduados, 2021

RESUMEN

Pseudotsuga menziesii (Mirb.) Franco es la especie forestal más ampliamente introducida en el mundo debido a su potencial de crecimiento y su amplia distribución. Los objetivos de este trabajo fueron: 1) evaluar la factibilidad biológica de disminuir la incidencia de *Apolychrosis ferruginus* en conos de *Pseudotsuga menziesii* a través de la aplicación de nutrimentos deficientes al suelo, 2) evaluar la factibilidad biológica de disminuir la incidencia de la plaga en conos de *P. menziesii* a través de la inyección de nutrimentos deficientes al xilema, y 3) describir el desarrollo fenológico del cono a lo largo de su ciclo de vida, así como evaluar el nivel de daño ocasionado en conos de *P. menziesii*. Para el primer objetivo se utilizaron análisis de suelo y foliares para detectar deficiencias nutrimentales en los árboles. Se seleccionaron 28 individuos con dimensiones similares, ubicados aleatoriamente y se distribuyeron siete tratamientos de fertilización con cuatro repeticiones cada uno, siendo un árbol la unidad experimental. Los tratamientos fueron: tratamiento sin fertilización (C); tratamientos correctores de deficiencias nutrimentales: TCD 1, (K), TCD 2, (K+N), y TCD 3, (K+N+Zn), tratamientos promotores de deficiencias nutrimentales: TPD 1, (B), TPD 2, (B+Ca); y TPD 3, (B+Ca+Fe). Para el objetivo dos, se seleccionaron 16 individuos ubicados aleatoriamente en el área experimental. Los tratamientos probados fueron: tratamiento testigo sin fertilización (TTSF), tratamiento corrector de deficiencias (TCD), tratamiento promotor de desbalances nutrimentales (TPD) y tratamiento con insecticida sistémico (TMCF). Para el objetivo tres se seleccionaron y marcaron cinco árboles. Se realizaron recolectas de follaje y conos a partir de mayo del 2019, hasta abril del 2020 para evaluar el estado fenológico de los órganos reproductivos, el porcentaje de conos dañados, y el estadio de las plagas. El TCD 3 fue el más efectivo para reducir la incidencia de la plaga, seguido por el TCD 2. El TPD 3 fue el peor tratamiento. El TMCF fue el tratamiento más efectivo para reducir la incidencia de la plaga, seguido por el TCD. Se detectó la presencia de la larva *Apolychrosis ferruginus* (Pogue), y se determinó que ésta presenta un ciclo de vida por año. El 100% de los conos recolectados presentan daños por la plaga.

Palabras clave: nutrimento deficiente, incidencia, plaga, deficiencia nutrimental, conos.

PHENOLOGY AND CONTROL OF *Apolychrosis ferruginus* BY NUTRIENT MANAGEMENT OF ITS HOST TREE: *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco

Reynol Fierros Mateo, D. C.

Colegio de Postgraduados, 2021

ABSTRACT

Pseudotsuga menziesii (Mirb.) Franco is the most broadly introduced forest species in the world due to its growth potential and wide distribution. The objectives of this work were: 1) to evaluate the biological feasibility of reducing the incidence of *Apolychrosis ferruginus* in *Pseudotsuga menziesii* cones through the application of deficient nutrients to the soil, 2) to evaluate the biological feasibility of reducing the incidence of the pest in cones of *P. menziesii* through the injection of deficient nutrients to the xylem, and 3) describe the phenological development of the cone throughout its life cycle and evaluate the level of damage caused in cones of *P. menziesii*. For the objective one, soil and foliar analyzes were used to detect nutrient deficiencies in the trees. Twenty eight individuals with similar dimensions were selected at random, and seven treatments were assigned to trees, with four replicates each, with a tree being the experimental unit. The treatments were: treatment without fertilization (C); nutrient deficiency correcting treatments: TCD 1, (K), TCD 2, (K + N), and TCD 3, (K + N + Zn), nutrient deficiency promoting treatments: TPD 1, (B), TPD 2, (B + Ca), and TPD 3, (B + Ca + Fe). TCD 3 was the most effective at reducing the incidence of the plague, followed by TCD 2. TPD 3 was the worst treatment. For objective two, 16 randomly located individuals were selected. The treatments tested were: control treatment without fertilization (TTSF), deficiency correcting treatment (TCD), nutrient imbalance promoting treatment (TPD) and systemic insecticide treatment (TMCF). TMCF was the most effective treatment to reduce the incidence of the plague, followed by TCD. For objective three, five trees were selected and marked. Foliage and cone collections were made from may 2019 to april 2020 to evaluate the phenological status of the reproductive organs, the percentage of damaged cones, and the development stage of the pest. The presence of the *Apolychrosis ferruginus* (Pogue) larvae was detected, showing it has one life cycle per year. 100% of the collected cones are damaged by the pest.

Key words: nutrient deficiency, incidence, pest, correction of nutrient deficiency, cones.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT), por el apoyo económico brindado durante la realización de los estudios de maestría.

Al Colegio de Postgraduados Campus Montecillo, y al Postgrado en Ciencias Forestales, por brindarme la oportunidad de realizar los estudios de doctorado en ciencias.

Al Sr. Antonio Macías, por permitirme realizar el trabajo de investigación en su predio.

Al Dr. Miguel Ángel López López, por la dirección de este proyecto de investigación, por brindarme su invaluable apoyo en todo el proceso de mis estudios de doctorado y por sus valiosos conocimientos compartidos. Sin duda un gran ser humano y amigo. Muchas gracias Doctor.

Al Dr. Carlos Ramírez Herrera, por su valioso apoyo en la toma de datos y recolección de muestras en el área de estudio. Por sus atinados aportes en la redacción de este trabajo.

Al Dr. Valentín José Reyes Hernández, por sus eficaces y atinados aportes para el enriquecimiento y culminación de este trabajo.

Al Dr. Víctor Manuel Cetina Alcalá, por sus valiosas aportaciones y sugerencias al presente trabajo de investigación.

Al Dr. Armando Equihua Martínez, por su vital apoyo en la identificación de la plaga y sus estadios, y por sus certeros aportes y comentarios al presente trabajo.

Al Dr. Gerónimo Quiñónez Barraza, por sus valiosos aportes y sugerencias de mejora al presente trabajo. Muchas gracias amigo.

Al Dr. Jesús Jasso Mata, por fungir como sinodal interno y colaborar con la mejora del presente trabajo.

Al Dr. David Cibrián Tovar, por fungir como sinodal externo y colaborar con la mejora del presente trabajo.

DEDICATORIA

A mi señora madre Silvia Mateo Romero, por todo su amor y apoyo incondicional, por ser un ejemplo a seguir y motivarme a ser mejor día con día. Con todo mi amor y cariño te dedico este humilde trabajo. Gracias mamá.

A mi hija Quetzalli, hermoso ser de luz que cambió mi vida y mi mundo, lo mejor que me ha sucedido. Te amo.

CONTENIDO

RESUMEN	iii
ABSTRACT.....	iv
LISTA DE CUADROS.....	ix
LISTA DE FIGURAS.....	x
INTRODUCCIÓN GENERAL	1
Literatura citada.....	4
CAPÍTULO I. REDUCCIÓN DE LA INCIDENCIA DE <i>Apolychrosis ferruginus</i> (Pogue) MEDIANTE FERTILIZACIÓN AL SUELO EN RODALES DE <i>Pseudotsuga menziesii</i> (Mirb.) Franco	6
1.1. RESUMEN.....	6
1.2. ABSTRACT.....	7
1.3. INTRODUCCIÓN	8
1.4. MATERIALES Y MÉTODOS	9
1.4.1. Área de estudio	9
1.4.2. Análisis preliminares foliares y de suelo.....	10
1.4.3. Diseño experimental	11
1.4.4. Aplicación de tratamientos	12
1.4.5. Variables evaluadas	12
1.4.6. Análisis de los datos	13
1.5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	13
1.6. CONCLUSIONES	23
1.7. LITERATURA CITADA.....	24
CHAPTER II. NUTRIENT MANAGEMENT OF <i>Pseudotsuga menziesii</i> (Mirb.) Franco ALLOWS TO REDUCE THE INCIDENCE OF <i>Apolychrosis ferruginus</i> (Pogue).....	27
2.1. ABSTRACT.....	27
2.2. RESUMEN.....	28
2.3. INTRODUCTION.....	29
2.4. MATERIALS AND METHODS	29
2.4.1. Study area	29
2.4.2. Sampling and preliminary analysis.....	30
2.4.3. Experimental design	31
2.4.4. Application of treatments	32

2.4.5. Variables evaluated.....	32
2.4.6. Data analysis.....	32
2.5. RESULTS.....	32
2.5. DISCUSSION	38
2.5.1. Cone dimensions.....	41
2.5.2. Nutrient status of trees.....	42
2.6. CONCLUSIONS.....	42
2.7. LITERATURE CITED	43
CAPÍTULO III. FENOLOGÍA DE CONOS Y ATAQUE DE <i>Apolychrosis ferruginus</i> (Pogue) EN UN RODAL NATURAL DE <i>Pseudotsuga menziesii</i> (Mirb.) Franco EN PUEBLA, MÉXICO.....	46
3.1. RESUMEN.....	46
3.2. ABSTRACT.....	47
3.3. INTRODUCCIÓN	48
3.4. MATERIALES Y MÉTODOS	50
3.4.1. Ubicación del área de estudio.....	50
3.4.2. Selección de las unidades de muestreo y obtención de los datos	51
3.4.3. Variables evaluadas	51
3.4.5. Análisis de los datos	52
3.5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	52
3.6. CONCLUSIONES	63
3.7. LITERATURA CITADA.....	64
CONCLUSIONES GENERALES.....	67

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Pruebas de Kruskal-Wallis y rangos para el número de pupas por cono en árboles de <i>Pseudotsuga menziesii</i> (Mirb.) Franco.....	14
Cuadro 2. Prueba de Mann-Whitney para el número de pupas por exposición de la copa en árboles de <i>Pseudotsuga menziesii</i> (Mirb.) Franco.	15
Cuadro 3. Prueba de Kruskal-Wallis para el número de pupas por cono en las exposiciones norte y sur de la copa de los árboles de <i>Pseudotsuga menziesii</i> (Mirb.) Franco, sujetos a tratamientos de fertilización.....	16
Cuadro 4. Prueba de rangos para el número de pupas por cono en árboles de <i>Pseudotsuga menziesii</i> (Mirb.) Franco, sujetos a tratamientos de fertilización e insecticida.	17
Cuadro 5. Prueba de Tukey ($\alpha=0.05$) para la longitud y diámetro de conos femeninos de <i>Pseudotsuga menziesii</i> (Mirb.) Franco, ubicados en las exposiciones norte y sur de las copas de los árboles y sujetos a tratamientos de fertilización.....	20
Table 6. Kruskal-Wallis tests and ranges for the number of pupae per cone in <i>Pseudotsuga menziesii</i> (Mirb.) Franco trees subjected to fertilization and insecticide treatments.	33
Table 7. The Mann – Whitney test for the number of pupae per cone in south- and north-facing sections of <i>Pseudotsuga menziesii</i> (Mirb.) Franco tree crowns.....	33
Table 8. Kruskal-Wallis test for the number of pupae per cone in North- and South-facing sections of crowns of <i>Pseudotsuga menziesii</i> (Mirb.) Franco trees subjected to fertilization treatments.	34
Table 9. Range test for the number of pupae per cone in <i>Pseudotsuga menziesii</i> (Mirb.) Franco trees subjected to fertilization and insecticide treatments.....	34
Table 10. Tukey test ($\alpha=0.05$) for length and diameter of female cones from the north- and south-facing sides of <i>Pseudotsuga menziesii</i> (Mirb.) Franco trees subjected to fertilization and insecticide treatments.	35
Cuadro 11. Total de larvas/pupas en exposición norte y sur de la copa de los árboles de <i>Pseudotsuga menziesii</i> (Mirb.) Franco durante el periodo de muestreo.	58
Cuadro 12. Pruebas de Mann - Whitney para la comparación del número de larvas/pupas/adultos en conos entre exposiciones de la copa de <i>Pseudotsuga menziesii</i> (Mirb.) Franco durante el periodo de muestreo.	61
Cuadro 13. Prueba de t para comparar la longitud (L) y diámetro (D) de los conos femeninos entre exposiciones de la copa de <i>Pseudotsuga menziessi</i> (Mirb.) Franco en el periodo de muestreo	62

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localización del área de estudio de <i>Pseudotsuga menziesii</i> (Mirb.) Franco.....	10
Figura 2. Incremento de diámetro a la altura del pecho (IDAP) durante el período experimental, en árboles de <i>Pseudotsuga menziesii</i> (Mirb.) Franco, sujetos a tratamientos de fertilización e insecticida, en Ixtacamaxtitlán, Puebla.	21
Figura 3. Diagramas de vectores de Timmer para la interpretación de macronutrientes foliares en árboles de <i>Pseudotsuga menziesii</i> (Mirb.) Franco, sujetos a tratamientos de fertilización e insecticida.....	22
Figura 4. Diagramas de vectores de Timmer para la interpretación de micronutrientes foliares en árboles de <i>Pseudotsuga menziesii</i> (Mirb.) Franco, sujetos a tratamientos de fertilización e insecticida.....	23
Figure 5. Geographical location of the study area.	30
Figure 6. DBH Increment (IDBH) during the experimental period, for <i>Pseudotsuga menziesii</i> (Mirb.) Franco trees exposed to fertilization and insecticide treatments, at Ixtacamaxtitlan, Puebla, Mexico.....	36
Figure 7. Timmer vector diagrams for interpretation of foliar macronutrients in <i>Pseudotsuga menziesii</i> (Mirb.) Franco trees subjected to fertilization and insecticide treatments.	37
Figure 8. Timmer vector diagrams for interpretation of foliar micronutrients in <i>Pseudotsuga menziesii</i> (Mirb.) Franco trees subjected to fertilization and insecticide treatments.	38
Figura 9. Ubicación del área de estudio de <i>Pseudotsuga menziessi</i> (Mirb.) Franco	50
Figura 10. Diferenciación de las yemas vegetativas terminales en el mes de enero 2020 (a) y (b); estróbilos femeninos (c) y masculinos (d) de <i>Pseudotsuga menziesii</i> (Mirb.) Franco durante las etapas de diferenciación y desarrollo inicial (febrero 2019).	53
Figura 11. Estróbilos masculino y femenino de <i>Pseudotsuga menziesii</i> (Mirb.) Franco en el mes de febrero 2019 (a). Cono dañado por plaga con presencia de resinación y excremento en el mes de marzo 2020 (b). Insecto adulto <i>Apolychrosis ferruginus</i> (Pogue) en marzo (c) y abril (d) 2020. Cono disectado con presencia de larva en el mes de marzo (e) y abril (f) 2020.....	54
Figura 12. Cono dañado en el mes de mayo (a) y junio (b) 2019. Cono disectado con presencia de larvas en el mes de mayo (c) y junio (d) 2019.	56
Figura 13. Pupa en el mes de julio (a) 2019, conos dañados por <i>Apolychrosis ferruginus</i> (Pogue) en el mes de agosto (b) 2019 y septiembre (c) 2019. Conos disectados y con daño por <i>A. ferruginus</i> en octubre (d) 2019 y noviembre (e) 2019. Cono del mes de noviembre en maduración completa (f) 2019.....	57
Figura 14. Total de larvas/pupas durante los meses muestreados en conos de <i>Pseudotsuga menziesii</i> (Mirb.) Franco en las exposiciones norte y sur de la copa de los árboles.	59

INTRODUCCIÓN GENERAL

Pseudotsuga menziesii (Mirb.) Franco es la especie forestal más ampliamente introducida en el mundo debido a su potencial de crecimiento, la calidad de la madera y amplia distribución, la cual se extiende desde la costa del Pacífico hasta la vertiente oriental de las Montañas Rocosas y desde los 19 ° N en México hasta los 55 ° N en el oeste de Canadá (Reyes *et al.*, 2005; Reyes *et al.*, 2006; Lavadinović *et al.*, 2013). *P. menziesii* es una conífera de gran importancia comercial en Canadá, Nueva Zelanda, Australia, Suiza, Alemania, Chile y Ucrania (Lavadinović *et al.*, 2013; Spellmann *et al.*, 2015). En Europa, se le reconoce como una especie productiva de rápido crecimiento con un alto grado de adaptabilidad (Plotnikova, 2020). En clima húmedo y templado, crece más grande y rápido que otras variedades de coníferas (Wilson *et al.*, 2020). Estos árboles suelen vivir más de 500 años y ocasionalmente más de 1000 años (Spellmann *et al.*, 2015). Al ser una especie productiva, comercialmente útil y popular, se considera una de las coníferas más valiosas a nivel mundial.

P. menziessi ha sido objeto de diversos estudios a nivel global, entre los que destacan estudios de regeneración, contenido de aceites esenciales en las acículas, silvicultura en general, análisis anatómico de madera y acículas, e investigación fisiológica (Wilson *et al.*, 2020, Spellmann *et al.*, 2015; Lavadinović *et al.*, 2013). La especie ha tenido problemas con insectos que afectan distintas estructuras del árbol, entre los más importantes se encuentran los barrenadores, defoliadores, así como plagas de brotes, yemas y conos (Wilson *et al.*, 2020). A nivel mundial se han estudiado más de 60 especies de insectos considerados como autóctonos de los conos de *P. menziesii* (Gupta, and Holmstrom 2005). En México, las especies de *Pseudotsuga* se encuentran bajo protección especial desde 1994, de acuerdo con la NOM-059-SEMARNAT-2010 (SEMARNAT, 2010) debido a que las poblaciones son pequeñas y fragmentadas, lo que las hace vulnerables a ser atacadas por plagas y enfermedades. Además, se ha documentado que las plagas que mayormente afectan a *P. menziesii* en México son los insectos de conos y semillas (Zavala y Méndez, 1996). Las plagas que se han documentado son: *Barbara colfaxiana* (Kearfoth), *Contarinia pseudotsugae* (Condrashoff), *Pityophthorus orarius* (Bright), *Apolychrosis ferruginus* (Pogue), *Barbara sp.*, *Choristoneura sp.*, *Contarinia sp.*, *Dioryctria pinicolella* (Amsel) y *Megastigmus sp.* (Sweeny y Miller, 1989; Cibrián *et al.*, 1995, Pool y Gentili, 1996).

En México, los reportes por daños a conos de *P. menziesii* han sido diversos, por ejemplo, en Coahuila y Tlaxcala se han registrado daños severos de *Barbara* sp. los cuales destruyeron más de 90 % de los conos de un rodal de *Pseudotsuga* sp. (Cibrián *et al.*, 1986). En los estados de Veracruz e Hidalgo se detectaron infestaciones masivas en *Pseudotsuga* sp. causadas por *Barbara* sp. donde la mortalidad de conos registrada fue superior a 80% (Cibrián *et al.*, 1995). Además, se ha encontrado a *Leptoglossus occidentalis* Heidemann y avispas del género *Megastismus* spp. especializadas en el consumo de semillas de *Pseudotsuga* sp. (Varela, 1992). En el estado de Puebla, se han encontrado infestaciones severas causadas por *Apolychrosis ferruginus* (Pogue), *Dyorictria pinocolella* (Amsel) y *Megastigmus* sp. (Espinosa *et al.*, 2014).

En la actualidad, en México existen pocos estudios sobre las relaciones plaga-nutrición forestal, así como de los métodos de control más eficientes. Los nutrimentos en el árbol están relacionados con funciones en el metabolismo, a través del cual influyen en el crecimiento y rendimiento de las plantas, sin embargo, la nutrición mineral también tiene efectos secundarios sobre la morfología, anatomía de la planta y la composición química que juega un papel esencial rechazando o atrayendo a los insectos (Dajoz, 2001). Las deficiencias nutrimentales impiden a los árboles llevar a cabo sus funciones fisiológicas en las que interviene cada elemento, ocasionando síntomas característicos en los vegetales, lo que posteriormente afecta las características morfológicas (Ortega y Malavolta, 2012).

La defensa que presentan las coníferas cuando son atacadas por insectos, se resumen en cuatro mecanismos de defensa: la primera defensa consiste en la modificación de distintas concentraciones tales como los terpenos y fenoles (Huber *et al.*, 2012;). Estas concentraciones detienen de manera inmediata el ataque de los insectos, inclusive aquellos que son los más tóxicos y raros como los escolítinos (Lieutier, 2004). La segunda defensa consiste en que después de algunas semanas de haber sido agredida por insectos, la planta forma nuevos canales de resina en el xilema, con la finalidad de tener un mayor flujo de resina (Krokene *et al.*, 2003). La tercera defensa consiste en proliferación de células polifenólicas, que tienen propiedades anti fúngicas; las cuales disminuyen la calidad nutritiva de los tejidos, y detienen la actividad de enzimas segregadas por el insecto, disminuyendo su capacidad de avance. El cuarto mecanismo de defensa consiste en aislar la infección y limitar el avance como una respuesta estructural (Franceschi y Christiansen, 2002).

Por lo anterior, resulta importante que los árboles se encuentren en un balance adecuado en cuanto al estado nutricional. El suministro de nutrimentos deficientes en dosis basadas en sus niveles críticos, puede disminuir significativamente la incidencia de plagas en árboles forestales (Sampedro, 2013). El suministro de estos nutrimentos puede ser vía fertilización al suelo o por medio de inyección al xilema. La fertilización al suelo ha mostrado resultados favorables (López y Estañol, 2007; Pérez *et al.*, 2013; Calixto *et al.*, 2015), sin embargo; la fertilización vía inyección al xilema, puede ser otra alternativa con resultados positivos para la mitigación de plagas forestales. Lo anterior puede ser complementado con el conocimiento de la fenología del cono, ya que permite conocer el momento en que se rompen las yemas, se abren, y se desarrollan, además de conocer el momento exacto en el que ocurre el ataque de la plaga.

En el municipio de Ixtacamaxtitlán, Puebla, existen plagas que afectan el arbolado de *P. menziesii* y que aún no han sido controladas tal es el caso de *Apolychrosis ferruginus* (Pogue), *Dyorictria pinocolella* (Amsel), y *Megastigmus* sp (Espinoza *et al.*, 2014). El daño que causan en *P. menziessi* repercute sobre la cantidad disponible de semilla sana disminuye y trae como consecuencia una menor probabilidad de regeneración natural, lo que pone en riesgo la permanencia futura de esta especie en los rodales de *P. menziesii*. Por este motivo, el objetivo general de esta investigación fue determinar la factibilidad biológica de disminuir la incidencia de *Apolychrosis ferruginus* en conos de *Pseudotsuga menziesii* mediante fertilización química. Para tal efecto, el trabajo se dividió en tres capítulos experimentales, y uno de conclusiones generales. En el primer capítulo se presenta un estudio sobre el efecto que tiene la fertilización de nutrimentos deficientes y no deficientes sobre la incidencia de la plaga *A. ferruginus* y las dimensiones de los conos. El segundo capítulo aborda el efecto de nutrimentos deficientes y no deficientes, así como de un insecticida sistémico inyectado vía xilema; sobre la incidencia de la plaga *A. ferruginus* y las dimensiones de los conos. En el tercer capítulo se presenta un análisis de fenología del cono en *P. menziessi* y su nivel de daño causado por la plaga *A. ferruginus*. Finalmente, en el cuarto capítulo se resumen las conclusiones generales de los tres trabajos realizados.

Literatura citada

- Cibrián, T., D., B. Ebel, H., y J. Méndez M. (1986). *Insectos de conos y semillas de las coníferas de México*. Ed. Asheville. Universidad Autónoma Chapingo. 110 p.
- Cibrián, T., D., J. Méndez M., R. Campos B., H. Yates O., and J. Flores L. (1995). *Insectos forestales de México*. Ed. Asheville. Universidad Autónoma Chapingo. 453 p.
- Dajoz, R. (2001). *Entomología Forestal, los insectos y el bosque: papel y diversidad de los insectos en el medio forestal*. Ed. España. 548 p. Disponible en: https://bcienciasponferrada.files.wordpress.com/2013/11/libro-entomologia_forestal.pdf
- Espinosa, F. N., Arriola, P. V. J., Guerra, C. V., Cibrián, L. V., and Galindo, F. G. (2014). Pest control in cones and seeds of *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco with systemic insecticides. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 23(12), 30-41. doi: 10.29298/rmcf.v5i23.340
- Franceschi, V. K., and Christiansen, C. E. (2002). Application of methyl jasmonate on *Picea abies* (Pinaceae) stems induces defense-related responses in phloem and xylem. *American Journal of Botany*, 89(4), 578-586. doi: 10.3732/ajb.89.4.578
- Gupta, P. K., and Holmstrom D. (2005). Douglas-Fir (*Pseudotsuga menziesii*). *Protocol for Somatic Embryogenesis in Woody Plants*, 1(77), 25-34.
- Huber, D. M., and Graham R. D. (1999). The role of nutrition in crop resistance and tolerance to disease, in: *Rengel Z. Ed. Mineral Nutrition of crops fundamental mechanisms and implications*, Food Product Press, New York, pp. 205-226.
- Krokene, G. P., Erik G. C., Trygve, C. K., and Gershenzon, P. J. (2006). Methyl jasmonate treatment of mature Norway spruce (*Picea abies*) trees increases the accumulation of terpenoid resin components and protects against infection by *Ceratocystis polonica*, a bark beetle-associated fungus. *Tree Physiology*, 26(8), 977-988. doi: 10.1093/treephys/26.8.977
- Lavadinović, V., Koprivica, M. & Isajev V. (2004). Phenological characters of Douglas-fir provenances in Serbia. *Silva Balcanica*, 12(4), 89-94.
- López, L. M. A., y Estañol, E. B. (2007). Detección de deficiencias de hierro en *Pinus leiophylla* a partir de los efectos de dilución y concentración nutrimental. *Terra Latinoamericana*, 5(1), 9-15. Available on: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57311513002>
- Lieutier, F. (2004). Host resistance to bark beetles and its variations. *Ed. Bark and wood boring insects in living trees in Europe: a synthesis*. Springer, Dordrecht, The Netherlands. 569 p.
- Ortega A., E., y E. Malavolta. (2012). Los más recientes micronutrientes vegetales. IAH7. Septiembre. 2012. *Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica*, 7(1), 16-25. Disponible en: [http://www.ipni.net/publication/ia-lacs.nsf/0/232B901BB70122F985257A80005228D7/\\$FILE/16.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-lacs.nsf/0/232B901BB70122F985257A80005228D7/$FILE/16.pdf)
- Pérez, C. M., López, L. M. A., Equihua, M. A., Cetina, V. M. A., Méndez, J. T. M., (2013). Relationships between site factors and bark beetle attack on pine trees. *Journal of Biological Sciences*, 13(1), 621-627. doi: 10.3923/jbs.2013.621.627

- Plotnikova, O. 2020. Попередні результати досліджень потомств кращих та нормальних дерев псевдотсуґи Мензіса (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco) в умовах Лісостепу України. *Forestry and Forest Melioration*, 136(45), 67-77. doi: 10.33220/1026-3365.136.2020.67.
- Poole, R. W. and Gentili, P. (1996). *Nomina insecta nearctica: a checklist of the insects of North America*. Vol. 3. Entomological Information Services. Rockville, MD. USA. Disponible en: <http://www.nearctica.com/nomina/main.htm>
- Reyes, H. V., Vargas, J. J. H., López, J. U., y Vaquera, H. H. (2006). Similitud fenotípica de poblaciones mexicanas de *Pseudotsuga* Carr. *Agrociencia*, 40(4), 545-556. Disponible en: <https://www.agrociencia-colpos.mx/index.php/agrociencia/article/view/487>
- Reyes, H. V., Vargas, J. J. H., López, J. U., y Vaquera, H. H. (2005). Variación morfológica y anatómica en poblaciones mexicanas de *Pseudotsuga* (Pinaceae). *Acta Botánica Mexicana*, 70(1), 47-67. doi: 10.21829/abm70.2005.987
- Sampedro, L. Z. R. (2013). Resistencia de los pinos a plagas y enfermedades: nuevas oportunidades de control fitosanitario. Sociedad española de Ciencias Forestales. 6to. Congreso Forestal Español. pp 11-20.
- Spellmann, H., Weller A., Brang, P., Michiels, H-G., and Bolte, A. (2015). Douglasie (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco). *Göttinger Forstwissenschaften*, 7(12), 187-217
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat). 2010. Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010. Diario Oficial de la Federación 30/12/2010. Secretaría de Gobernación. México, D. F. México. 78 p.
- Sweeny, J. D., and Miller, G. E. (1989). Distribution of *Barbara colfaxiana* Kearfortt (Lepidoptera: Tortricidae) eggs with and among egg densities. *Canadian Entomologist*, 121(2) 569-578. doi: 10.4039/ENT121569-7
- Wilson, E., Gilles, S. M., and Ligot, G. (2020). The Douglas Fir Needle Midg (*Contarinia pseudotsugae*) A potential threat to Douglas fir in the United Kingdom and Ireland? *Quarterly Journal of Forestry*, 114(4), 244-250. Consultado en <https://orbi.uliege.be/handle/2268/250137>
- Zavala, Ch. F., y Méndez, T. M. (1996). Factores que afectan la producción de semillas de *Pseudotsuga macrolepis* Flous en el estado de Hidalgo, México. *Acta Botánica Mexicana*, 36(1), 1-13. doi: 10.21829/abm36.1996.756

**CAPÍTULO I. REDUCCIÓN DE LA INCIDENCIA DE *Apolychrosis ferruginus* (Pogue)
MEDIANTE FERTILIZACIÓN AL SUELO EN RODALES DE *Pseudotsuga menziesii*
(Mirb.) Franco**

1.1. RESUMEN

Pseudotsuga menziesii (Mirb.) Franco es la especie forestal más ampliamente introducida en el mundo debido a su potencial de crecimiento, la calidad de la madera y su amplia distribución. En el centro de México los rodales naturales de esta especie presentan problemas por plagas, especialmente por *Apolychrosis ferruginus* (Pogue), plaga que ataca directamente a los conos y provoca una escasa regeneración. El objetivo de este estudio fue evaluar la factibilidad biológica de disminuir la incidencia de *A. ferruginus* en conos de *P. menziesii* a través de la aplicación al suelo de nutrimentos deficientes. Se utilizaron análisis de suelo y foliares para detectar deficiencias nutrimentales en los árboles. Se seleccionaron 70 individuos con dimensiones similares, ubicados aleatoriamente en el área experimental y entre ellos se distribuyeron siete tratamientos con diez repeticiones cada uno, siendo un árbol la unidad experimental. Los tratamientos fueron: tratamiento sin fertilización (C); tratamiento corrector de deficiencias nutrimentales 1 (TCD 1, K); tratamiento corrector de deficiencias nutrimentales 2 (TCD 2, K+N); tratamiento corrector de deficiencias nutrimentales 3 (TCD 3, K+N+Zn); tratamiento promotor de deficiencias nutrimentales 1 (TPD 1, B); tratamiento promotor de deficiencias nutrimentales 2 (TPD 2, B+Ca); y tratamiento promotor de deficiencias nutrimentales 3 (TPD 3, B+Ca+Fe). En las exposiciones norte y sur de la copa de cuatro árboles seleccionados aleatoriamente por tratamiento se evaluó el número de pupas por cono y las dimensiones de los conos. En diez repeticiones de cada tratamiento se estimó el incremento en diámetro de los árboles durante el período de septiembre 2018 a abril de 2020. El TCD 3 generó mayor crecimiento que los tratamientos promotores de desbalances, incluido el testigo, además el TCD 3 fue el más efectivo para reducir la incidencia de la plaga, seguido por el TCD 2. El TPD 3 fue estadísticamente el peor tratamiento, ya que los árboles mostraron mayor incidencia de la plaga. La aplicación de nutrimentos deficientes es un método efectivo para mitigar la incidencia de la plaga.

Palabras clave: nutrimento deficiente, balance nutrimental, exposición de copa, larva, pupa.

1.2. ABSTRACT

Pseudotsuga menziesii (Mirb.) Franco is the most widely introduced forest species in the world due to its growth potential, wood quality, and wide distribution. In central Mexico, natural stands of this species have problems due to pests, especially *Apolychrosis ferruginus* (Pogue), a pest that directly attacks the cones and brings about poor regeneration. The objective of this study was to evaluate the biological feasibility of reducing the incidence of *A. ferruginus* in *P. menziesii* cones through the application of deficient nutrients to the soil. Soil and foliar analyzes were used to detect nutrient deficiencies in the trees. Seventy individuals with similar dimensions were randomly selected within the experimental area and seven treatments with ten replicates each were distributed among them, with a tree being the experimental unit. The treatments were: treatment without fertilization (C); nutritional deficiency correcting treatment 1 (TCD 1, K); nutritional deficiency correcting treatment 2 (TCD 2, K + N); nutritional deficiency correcting treatment 3 (TCD 3, K + N + Zn); nutritional deficiency promoting treatment 1 (TPD 1, B); nutritional deficiency promoting treatment 2 (TPD 2, B + Ca); and nutritional deficiency promoting treatment 3 (TPD 3, B + Ca + Fe). In the north and south facing sides of tree crowns, the number of pupae per cone and cone dimensions were measured on four randomly selected trees per treatment. Tree diameter increment was determined based on all 10 replicates per treatment during the period from september 2018 to april 2020. The TCD 3 generated greater growth than the imbalance-promoting treatments, including the control; in addition, TCD 3 was the most effective at reducing the incidence of the pest, followed by TCD 2. TPD 3 was statistically the worst, treatment, since the trees showed higher incidence of the pest. The application of deficient nutrients is an effective method to mitigate the incidence of the studied pest.

Key words: nutrient deficient, nutrient balance, crown exposure, larva, pupa.

1.3. INTRODUCCIÓN

Pseudotsuga menziesii (Mirb.) Franco es la especie forestal más introducida en el mundo debido a su potencial de crecimiento, la calidad de la madera y su amplia distribución (Bindewald *et al.*, 2021), la cual se extiende desde la costa del Pacífico hasta la vertiente oriental de las Montañas Rocosas, entre las latitudes 19 ° N en México y 55 ° N en el oeste de Canadá (Reyes *et al.*, 2005; Reyes *et al.*, 2006; Lavadinović *et al.*, 2013).

P. menziessi ha sido objeto de diversos estudios a nivel mundial, entre los que destacan los de regeneración, contenido de aceites esenciales en las acículas, silvicultura en general, análisis anatómico de madera y acículas, e investigación fisiológica (Lavadinović *et al.*, 2013; Spellmann *et al.*, 2015; Wilson *et al.*, 2020). La especie ha tenido problemas con gran variedad de insectos (barrenadores, defoliadores, plagas de brotes, yemas y conos) que afectan distintas estructuras del árbol (Wilson *et al.*, 2020).

Dentro de los insectos más destructivos a nivel mundial que atacan especies forestales, se encuentran: a) el cálcido de la semilla del abeto de Douglas (*Megastigmus spermotrophus* (Wachtl)), que madura en la semilla en desarrollo sin signos externos de su presencia; b) la polilla del cono del abeto de Douglas (*Barbara colfaxiana* (Kearfott)) y el gusano del cono del abeto (*Dioryctria abietivorella* (Grote)); c) el mosquito de la agalla del cono de abeto Douglas (*Contarinia oregonensis* (Foote)), que destruye semillas y evita la cosecha de muchas más al causar una agalla que imposibilita la apertura normal de los conos; d) El escarabajo del abeto de Douglas (*Dendroctonus pseudotsugae* (Hopkins)), plaga destructiva en rodales viejos de *P. menziesii* costeros, considerado como el de mayor riesgo potencial (Spellmann *et al.*, 2015; Cibrián *et al.*, 1995). Más de 60 especies de insectos son autóctonas de los conos de *P. menziesii* (Gupta, and Holmstrom 2005).

En México, *P. menziesii* se encuentra sujeta a protección especial de acuerdo con la NOM-059-SEMARNAT-2010, debido a que sus poblaciones se encuentran fragmentadas y han sido impactadas por diversos factores antropogénicos, plagas y enfermedades (Espinosa *et al.*, 2014; Zavala y Méndez, 1996). Las plagas que más afectan la supervivencia de *P. menziesii* en México son las de los conos (Espinosa *et al.*, 2014), estructuras que son atacadas por insectos como *Barbara colfaxiana* Kearfoth, *Contarinia oregonensis*, *C. washigtorensis* Johns, *C. pseudotsugae* Condrashoff, *Pityophthorus orarius* Bright, *Apolychrosis ferruginus* Pogue, *Barbara* sp.,

Choristoneura sp., *Contarinia* sp., *Dioryctria pinicolella* Amsel, *Megastigmus* sp. y *Trips* (Espinosa *et al.*, 2014).

En México se han evaluado diferentes métodos para el manejo de plagas en ecosistemas forestales, desde la colocación de trampas con feromonas, hasta la aspersión de copas con insecticidas y el manejo integrado de plagas (Cibrián *et al.*, (1995). Sin embargo, la aplicación de fertilizantes químicos al suelo como método de control ha sido poco explorado, a pesar de que algunos trabajos han demostrado su eficacia y (López y Estañol, 2007; Pérez *et al.*, 2013). En el centro de México, dados los graves problemas de incidencia de insectos en conos de *P. menziesii*, se han utilizado insecticidas sistémicos vía inyección al xilema y al suelo (Espinosa *et al.*, 2014); sin embargo, a pesar de que se ha logrado disminuir de forma temporal la incidencia, la plaga regresa en un periodo menor a un año. Por lo anterior, el objetivo de este trabajo fue evaluar la factibilidad biológica de disminuir la incidencia del insecto *Apolychrosis ferruginus* en conos de *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco a través de la aplicación al suelo de nutrimentos deficientes, la hipótesis probada fue que es posible disminuir la incidencia de la plaga a través de la fertilización de nutrimentos deficientes.

1.4. MATERIALES Y MÉTODOS

1.4.1. Área de estudio

El área de estudio se localiza a una altitud de 2950 m, en la comunidad de La Caldera, municipio de Ixtacamaxtitlán, Puebla, México; entre las coordenadas 19° 30' 34'' N y 97° 51' 56'' Oe Figura 1.

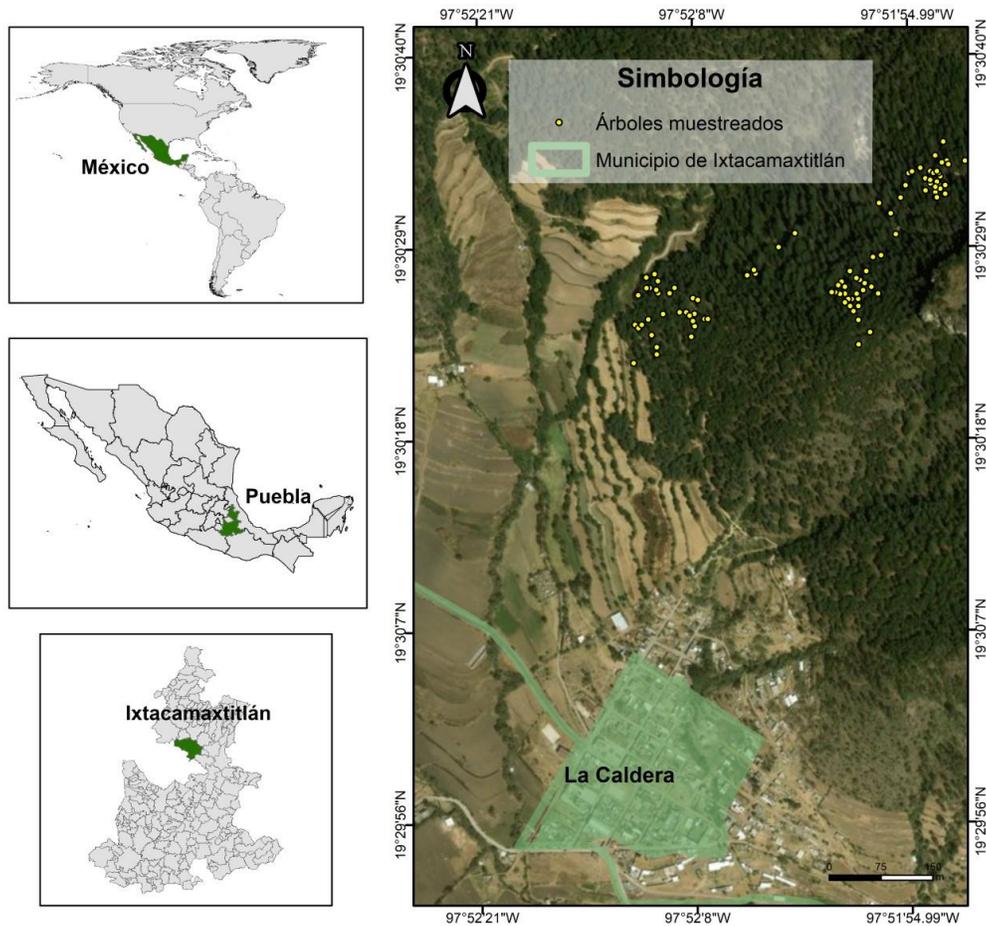


Figura 1. Localización del área de estudio de *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco

1.4.2. Análisis preliminares foliares y de suelo

En mayo de 2018 se obtuvieron seis muestras de suelo (distribuidas en toda el área del rodal), a 30 cm de profundidad del suelo, con una pala marca Trupper, y cuatro muestras foliares del tercio superior de la copa de cuatro árboles dominantes en el total del sitio, a través de escalado del árbol. Las muestras de suelo fueron seleccionadas en forma sistemática considerando las condiciones generales del rodal. Las muestras foliares se analizaron en el laboratorio Salvador Alcalde Blanco, en el Campus Montecillo del Colegio de Postgraduados, para determinar, las concentraciones de N, P, K, Ca, Mg, Fe, Cu, Zn, Mn y B. Con excepción del N, la determinación de las concentraciones se realizó a partir del extracto de la digestión húmeda del follaje con ácido sulfúrico, ácido perclórico y peróxido de hidrógeno (1.3:0.7:1, v:v:v) (Alcántar y Sandoval, 1999). Los extractos se leyeron en un equipo de espectrometría de emisión e inducción por plasma (Agilent 725 Series

ICP-OES). La concentración de N se determinó en una alícuota de 10 mL del extracto antes descrito, mediante destilación de la muestra y valoración a través de titulación con ácido sulfúrico (Alcántar y Sandoval 1999). Las muestras de suelo también se procesaron en el mismo laboratorio. En estas muestras se determinó el pH, materia orgánica, capacidad de intercambio catiónico (CIC), y el contenido de N total, P, K, Ca, Mg, Fe, Cu, Zn y Mn. Para obtener los resultados de las muestras de suelo se utilizó la metodología descrita en la NOM-SEMARNAT-021 (SEMARNAT 2001), que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, muestreo y análisis.

Para la interpretación de los análisis foliares se consideraron las concentraciones críticas para *Pseudotsuga menziesii* (Ballard y Carter, 1986). Los análisis de suelo se interpretaron de acuerdo con la Norma Oficial Mexicana (NOM-SEMARNAT-021-SEMARNAT-2001; SEMARNAT, 2001).

Los análisis foliares y de suelo indicaron deficiencias agudas de K en el follaje, mientras que los análisis de suelo permitieron detectar deficiencias de N y Zn. Con base en este diagnóstico se diseñó un experimento con siete tratamientos, incluido un testigo (control), tres tratamientos se aplicaron para corregir las deficiencias nutrimentales del sitio, y otros tres para promover mayores desbalances nutrimentales en los que se agregaron nutrimentos no deficientes a los árboles. Las dosis de los fertilizantes aplicados se basaron en el método racional propuesto por Rodríguez (1993), adaptado para tejido vegetal.

1.4.3. Diseño experimental

Se utilizó un diseño experimental completamente al azar con diez repeticiones por tratamiento. La unidad experimental fue el árbol. El modelo general se presenta en la ecuación 1.

$$Y_{ij} = \mu_i + \tau_i + \varepsilon_{ij} \quad j=1,2,\dots,70 \quad (1)$$

Donde Y_{ij} = observación de la j -ésima repetición del i -ésimo tratamiento, μ_i = media del i -ésimo tratamiento, τ_i = efecto del tratamiento i , ε_{ij} = error experimental, j = efecto de la repetición.

En el sitio experimental se seleccionaron 70 árboles en producción de conos, a los cuales se les midió el diámetro a la altura del pecho (DAP) a 1.30 m del suelo. A estos árboles se les colocó una placa de aluminio con el número de árbol y tratamiento aplicado. Los tratamientos

fueron: (1) tratamiento sin fertilización (C); (2) tratamiento corrector de deficiencias nutrimentales 1 (TCD 1, K); (3) tratamiento corrector de deficiencias nutrimentales 2 (TCD 2, K+N); (4) tratamiento corrector de deficiencias nutrimentales 3 (TCD 3, K+N+Zn); (5) tratamiento promotor de deficiencias nutrimentales 1 (TPD 1, B); (6) tratamiento promotor de deficiencias nutrimentales 2 (TPD 2, B+Ca); y (7) tratamiento promotor de deficiencias nutrimentales 3 (TPD 3, B+Ca+Fe). Las dosis y materiales fertilizantes aplicados a las correspondientes unidades experimentales fueron: 1.5 kg / árbol de sulfato de potasio (K), 450 g / árbol de urea (N), 20 g / árbol de Sagaquel zinc® (Zn), 20 g / árbol Nutriboro®, 150 g / árbol de Sagaquel Calcio®, 20 g / árbol de Sagaquel fierro®. (Espinosa *et al.*, 2014).

1.4.4. Aplicación de tratamientos

Todos los fertilizantes líquidos (Sagaquel zinc®, Nutriboro®, Sagaquel Calcio® y Sagaquel fierro®) se diluyeron en agua destilada antes de la aplicación, mientras que los fertilizantes sulfato de potasio y urea se aplicaron directamente al suelo cerca del área de goteo de los árboles seleccionados. Los fertilizantes se aplicaron en septiembre del 2018, y la evaluación del experimento se realizó a finales de abril del 2020.

1.4.5. Variables evaluadas

Debido al esfuerzo que implica recolectar las muestras de conos de 70 árboles, se decidió evaluar cuatro árboles por tratamiento, para un total de 28 árboles. De cada árbol se recolectaron tres conos en la exposición norte y tres en la exposición sur de la parte superior de la copa (un total de 168 conos, 24 por cada tratamiento). Se evaluó el número de pupas por cono y por exposición de la copa).

El diámetro y la longitud se midieron en la sección media de cada cono con un vernier digital marca Mitutoyo® modelo CD 67-S6. En los árboles se marcó con pintura el DAP y se midió con una cinta diamétrica marca Jackson MS®. El DAP se remidió al final del experimento, para estimar el incremento durante el periodo experimental. Al final de la evaluación (abril de 2020) se recolectaron muestras de follaje para análisis químico, para realizar un análisis gráfico de vectores de los tratamientos.

1.4.6. Análisis de los datos

Los datos se procesaron mediante el software estadístico InfoStat. Se evaluó que las variables cumplieran con los supuestos del análisis de varianza (normalidad, homogeneidad de varianzas e independencia). Las variables que cumplieron con los supuestos se analizaron mediante análisis de varianza (ANOVA) y comparación de medias con la prueba de Tukey, a un nivel de significancia de 5%. Para las variables que no cumplieron con los supuestos, se utilizó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis para el contraste de k medianas, y la prueba de contrastes de rangos, para la comparación de los tratamientos. Las concentraciones de nutrimentos foliares se evaluaron a través del método gráfico de vectores (Timmer y Stone, 1978) en Microsoft Excel 2016.

1.5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La totalidad de la muestra de conos analizados de *Pseudotsuga menziesii* presentó daño por *Apolychrosis ferruginus*. Se han reportado daños similares por esta plaga en el centro de México, Zabala y Méndez (1996), encontraron daños en 47.7% de los conos de *Pseudotsuga* en el estado de Hidalgo, México, mientras que, en el presente estudio, la totalidad de los conos muestreados (100 %) presentaron daño por la plaga *Apolychrosis ferruginus*. Un estudio más reciente hecho por Espinosa *et al.* (2014), revela un nivel de daño por plagas de conos de 46% en 712 conos analizados de *Pseudotsuga menziesii* en el estado de Tlaxcala, México, situación que se asemeja a la del presente estudio, solo que con mayor nivel de daño. Las poblaciones de esta especie en la zona central de México son sólo relictos, mientras que en el norte del país aún existen áreas dominadas por *P. menziesii*. Una de las posibles causas del fraccionamiento de las poblaciones en el área meridional de su distribución, es el cambio en el clima, que probablemente ahora es poco adecuado para la especie (Mathew y Maria, 2018), mientras que, en el norte de México, aún es propicio para su desarrollo. Por lo anterior, el elevado daño causado por la plaga en *P. menziesii* puede deberse al debilitamiento de los árboles por la incompatibilidad con el clima actual (Arreola-Ortíz *et al.*, 2010). Otra posible causa, también relacionada con el cambio climático es la ampliación de intervalos de distribución de las plagas hacia las partes frías (Podrázský, 2015; De Grandpré *et al.*, 2018; Mathew y Maria, 2018).

Al menos un tratamiento fue diferente de los demás en cuanto al número de pupas (Cuadro 1). En promedio, los árboles del tratamiento corrector de deficiencias nutrimentales 3 (TCD 3, K+N+Zn)

mostraron la menor cantidad de pupas por cono, seguidos del tratamiento corrector de deficiencias nutrimentales 2 (TCD 2, K+N). El tratamiento control (C) se mantuvo con un número de pupas promedio entre los tratamientos correctores de desbalance nutrimental y los tratamientos generadores de desbalance nutrimental. Los árboles del tratamiento promotor de desbalances nutrimentales 3 (TPD 3, B+Ca+Fe) presentaron la mayor cantidad de pupas por cono, seguidos de los árboles del tratamiento promotor de desbalances nutrimentales 2 (TPD 2, B+Ca).

Cuadro 1. Pruebas de Kruskal-Wallis y rangos para el número de pupas por cono en árboles de *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco.

Tratamiento	N	\bar{x}	SD	Med	H	valor-p	Rango	Clas
TCD 3	24	0.21	0.41	0	116.68	<0.0001	24.71	A
TCD 2	24	0.67	0.64	1			41.92	A B
TCD 1	24	1.17	0.70	1			61.17	B
C	24	1.96	0.69	2			92.13	C
TPD 1	24	2.17	0.76	2			100.29	C
TPD 2	24	3.04	0.75	3			131.71	D
TPD 3	24	3.29	0.69	3			139.58	D

TCD3 = tratamiento corrector de deficiencias nutrimentales K+N+Zn; TCD 2 = tratamiento corrector de deficiencias nutrimentales K+N; TCD 1 = tratamiento corrector de deficiencias nutrimentales K; TPD 1 = tratamiento promotor de desbalances nutrimentales B; TPD 2 = tratamiento promotor de desbalances nutrimentales B+Ca; TPD 3 = tratamiento promotor de desbalances nutrimentales B+Ca+Fe; n = número de muestras; \bar{x} = media por tratamiento; SD = desviación estándar; Med = mediana; H = valor de la prueba de Kruskal-Wallis; Clas = clasificación.

Al aumentar el número de nutrientes deficientes, aumentó la efectividad de éstos como inhibidores del ataque de *A. ferruginus*. Además, conforme aumenta el número de nutrientes no deficientes, incrementó el ataque de la plaga hasta niveles siempre superiores que los promovidos

por el tratamiento testigo. Es decir, según estos resultados (Cuadro 1), es preferible hacer nada, que aplicar nutrimentos no deficientes.

El Cuadro 2 muestra que el número de pupas por cono es mayor en los conos de la exposición sur que en los de la exposición norte de la copa de los árboles.

El Cuadro 2 muestra que el número de pupas por cono es significativamente mayor en los conos de la exposición sur que en los de la exposición norte de la copa de los árboles.

Cuadro 2. Prueba de Mann-Whitney para el número de pupas por exposición de la copa en árboles de *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco.

Exposición	n	\bar{x}	DE	W	Valor-p
N	84	1.39	1.06		
				5899	<0.0001
S	84	2.18	1.34		

n = número de muestras; \bar{x} = media por exposición; DE = desviación estándar por exposición; W = suma de los rangos en la muestra de menor tamaño; valor-p = valor de la prueba de Mann-Whitney.

Debido a que existen diferencias significativas en el número de pupas en ambas exposiciones de la copa, entre tratamientos, se decidió separar los análisis de Kruskal – Wallis subsiguientes por exposición de la copa (Cuadro 3). Tanto en la exposición norte como en la exposición sur de las copas de los árboles, existieron diferencias significativas entre tratamientos, en términos del número de pupas por cono. En ambas exposiciones de copa, el mejor tratamiento (*i.e.* menor número de pupas por cono) fue el que recibió la mayor cantidad de nutrimentos deficientes, mientras que el peor tratamiento fue el que recibió el mayor número de nutrimentos no deficientes. La aplicación de nutrimentos no deficientes resulta ser una actividad no recomendada si la intención es disminuir el ataque de *A. ferruginus* (Cuadro 3).

Cuadro 3. Prueba de Kruskal-Wallis para el número de pupas por cono en las exposiciones norte y sur de la copa de los árboles de *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco, sujetos a tratamientos de fertilización.

Trat	\bar{x}	SD	Med	H	Valor-p	\bar{x}	SD	Med	H	Valor-p
	N	N	N			S	S	S		
TCD 3	0.17	0.39	0.00	63.84	<0.0001	0.25	0.45	0.00	58.93	<0.0001
TCD 2	0.33	0.49	0.00			1.00	0.60	1.00	1.00	
TCD 1	0.83	0.39	1.00			1.50	0.80	2.00	1.50	
C	1.50	0.52	1.50			2.42	0.51	2.00	2.42	
TPD 1	1.58	0.51	2.00			2.75	0.45	3.00	2.75	
TPD 2	2.58	0.67	3.00			3.50	0.52	3.50	3.50	
TPD 3	2.75	0.45	3.00			3.83	0.39	4.00	3.83	

TCD3 = tratamiento corrector de deficiencias nutrimentales K+N+Zn; TCD 2 = tratamiento corrector de deficiencias nutrimentales K+N; TCD 1 = tratamiento corrector de deficiencias nutrimentales K; TPD 1 = tratamiento promotor de desbalances nutrimentales B; TPD 2 = tratamiento promotor de desbalances nutrimentales B+Ca; TPD 3 = tratamiento promotor de desbalances nutrimentales B+Ca+Fe; \bar{x} = media; N = exposición norte de la copa; S = exposición sur de la copa; SD = desviación estándar; Med = mediana; H = valor de la prueba de Kruskal - Wallis.

Los tratamientos TCD3 y TCD2 fueron los más promisorios para disminuir la incidencia de la plaga en conos de *P. menziesii*. En ambas exposiciones no se presentaron diferencias significativas entre los tratamientos correctores de deficiencias (TCD3, YCD2 y TCD1); sin embargo, tampoco hubo diferencias entre el tratamiento TCD1, C y TPD1. Esto significa que la corrección de un solo nutriente deficiente no tiene efectos significativos con respecto al testigo sin fertilización (Cuadro 4). El TPD 3 resultó ser estadísticamente igual al TPD 2 (tratamientos que presentan el mayor número de pupas por cono), ambos son estadísticamente inferiores al TCD 3, TCD 2, TCD 1 y C, en ambas exposiciones de copa (Cuadro 4).

Cuadro 4. Prueba de rangos para el número de pupas por cono en árboles de *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco, sujetos a tratamientos de fertilización e insecticida.

Tratamientos	Exposición norte			Exposición sur		
	Medias	Rangos	Clas	Medias	Rangos	Clas
TCD 3	0.17	14.50	A	0.25	10.25	A
TCD 2	0.33	18.50	A	1.00	20.58	A
TCD 1	0.83	30.50	A B	1.50	28.83	A B
C	1.5	46.25	B	2.42	45.25	B C
TPD 1	1.58	48.21	B	2.75	52.25	C D
TPD 2	2.58	68.04	C	3.50	67.00	D
TPD 3	2.75	71.50	C	3.83	73.33	E

TCD3 = tratamiento corrector de deficiencias nutrimentales K+N+Zn; TCD 2 = tratamiento corrector de deficiencias nutrimentales K+N; TCD 1 = tratamiento corrector de deficiencias nutrimentales K; TPD 1 = tratamiento promotor de desbalances nutrimentales B; TPD 2 = tratamiento promotor de desbalances nutrimentales B+Ca; TPD 3 = tratamiento promotor de desbalances nutrimentales B+Ca+Fe; Clas = clasificación.

A lo largo de la historia, los trabajos referentes al efecto de la fertilización química en la incidencia de plagas forestales, han generado respuestas que no muestran un patrón definido. Por ejemplo, en insectos de conos, la fertilización nitrogenada aumentó el número de larvas de *Laspeyresia strobilella* que atacaron bosques de *Picea abies* en cinco áreas al sur de Noruega (Bakke, 1969), mientras que la fertilización en de Estados Unidos de Norteamérica, promovió el aumento de las poblaciones de insectos defoliadores en *Abies religiosa* (Kunth Schltdl. et Cham.) (Joseph *et al.*, 1993). En el presente trabajo, la fertilización con nutrientes deficientes resultó ser favorable en la disminución de la plaga *A. ferruginus*, lo que contrasta con los resultados encontrados por Joseph *et al.*, 1993 y Bakke, 1969. La respuesta favorable en la disminución de la plaga del presente trabajo, puede deberse a la modificación de los metabolitos secundarios (MS) en los sistemas de defensa preformada de las coníferas (producción de compuestos fenólicos) al ser fertilizados con nutrientes deficientes (Franceschi *et al.*, 2005). La variedad estructural de un mismo grupo de MS está dada por modificaciones químicas a una estructura básica, originada por reacciones químicas (Wink, 1999). Esta variabilidad ocasiona perfiles metabólicos diferentes entre especies, entre los miembros de una población y entre los diferentes órganos de la planta, como estrategia

de adaptación (Gerson *et al.*, 2009). Por lo anterior, a un insecto le resulta más difícil alimentarse de una población de árboles que individualmente contienen mezclas diferentes de metabolitos secundarios que de una población con una mezcla homogénea de metabolitos secundarios (Castellanos y Espinoza-García, 1997).

En el oeste de los Estados Unidos de Norteamérica, insectos chupadores y ácaros han sido beneficiados por la fertilización química, al aumentar la concentración de aminoácidos en la savia (Carrow y Betts, 1973). En algunos estudios realizados en Canadá y Estados Unidos de Norteamérica, la fertilización nitrogenada disminuyó la incidencia de adélgidos, mientras que en otros casos el crecimiento de las poblaciones fue promovido por la fertilización (Carrow y Betts, 1973).

En insectos descortezadores y barrenadores, la fertilización ha tenido respuestas positivas en la disminución de la incidencia. Calixto *et al.* (2015) aplicaron fertilizantes con contenido de nitrógeno, fósforo y potasio, en árboles de *Cedrela odorata* L. en Papantla, Veracruz, México, para disminuir la incidencia de *Hypsipyla grandella* Zeller, un barrenador de brotes y yemas. Sus resultados mostraron que la fertilización con potasio, ayudó a reducir ligeramente la incidencia de la plaga. Otro estudio en México, mostró que es posible ahuyentar a *Dendroctonus* sp. que atacó a una plantación de *Pinus leiophylla* Schltdl. et Cham. al aplicar hierro en forma foliar, nutrimento que resultó ser deficiente en el sitio, según un diagnóstico basado en análisis foliares (López y Estañol, 2007). En otro estudio realizado por Pérez *et al.*, (2013), en un rodal natural de *Pinus hartwegii* Lindl. en el Estado de México, obtuvieron resultados favorables en cuanto a la disminución de *Dendroctonus adjunctus* Blandford, al aplicar fósforo (nutrimento deficiente en el sitio) a los árboles. Lo anterior es consistente con los resultados encontrados en este estudio.

Con los resultados evidentes de este trabajo, y los anteriores estudios comentados, el manejo nutrimental de la especie podría ser una alternativa viable a los métodos de control tradicionalmente utilizados (insecticidas). El manejo nutrimental tiene la ventaja de que además de disminuir la incidencia de la plaga, es mucho menos nocivo al ambiente, comparado con la aplicación de pesticidas (Calixto *et al.*, 2015).

Los árboles asignan sus recursos al crecimiento y la producción de defensas, por lo que se podría esperar que los árboles que se encuentran en áreas con baja disponibilidad de nutrimentos, tengan menor capacidad para compensar la pérdida de tejido fotosintético por el ataque de plagas, y deberán invertir más recursos en las defensas (Coley *et al.*, 1985). Estas defensas están compuestas

principalmente por compuestos de carbono, como terpenos y compuestos fenólicos (Hipótesis del equilibrio carbono-nutrientes, Bryant *et al.*, 1983) que son producto de la transformación de fotosintetizados, cuya producción depende en buena medida de las concentraciones nutrimentales en el follaje (Larcher, 1995). Por otro lado, los individuos que crecen en suelos fértiles y / o en sitios sombreados pueden tener una mayor capacidad para responder al ataque de plagas, debido a la mayor disponibilidad de nutrimentos en el suelo (Pastorino, 2009). Lo anterior puede explicar el éxito del experimento del presente trabajo, pues al corregir las deficiencias nutrimentales en los árboles de *P. menziesii*, la cantidad de larvas/pupas en los conos, disminuyó. Las defensas compuestas por carbono tienden a disminuir mientras que las defensas de nitrógeno se vuelven más importantes (Bryant *et al.*, 1983; Coley *et al.*, 1985). Por lo tanto, se espera que exista una correlación negativa entre la disponibilidad de nutrientes en el suelo y la producción de defensas que alteren las relaciones plagas - huésped, y que especies de una misma comunidad puedan presentar defensas contra las plagas similares (War *et al.*, 2012; Silva *et al.*, 2017).

El ANOVA para las dimensiones de los conos de *Pseudotsuga menziesii* en exposiciones norte y sur de la copa de los árboles, mostró que existen diferencias altamente significativas entre tratamientos ($p < 0.0001$), tanto en longitud como en diámetro.

En ambas exposiciones de la copa, el TCD 3 fue el que promovió longitudes y diámetros mayores en conos, tanto en la exposición norte como en la sur, seguido por TCD 2 y TCD1 (Cuadro 5). Los conos de los árboles del testigo (C), presentaron dimensiones intermedias entre aquellas de los tratamientos correctores de desbalances nutrimentales y las de los promotores de desbalances. Los tratamientos que promovieron el menor aumento en dimensiones de los conos tanto en longitud, como en diámetro, en ambas exposiciones de la copa, fueron TPD 3 y TPD 2, sin diferencias significativas entre tratamientos ni entre exposiciones de la copa.

Cuadro 5. Prueba de Tukey ($\alpha=0.05$) para la longitud y diámetro de conos femeninos de *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco, ubicados en las exposiciones norte y sur de las copas de los árboles y sujetos a tratamientos de fertilización.

Tratamiento	LCEN			LCES			DCEN			DCES		
	\bar{x} (cm)	EE	Clas									
TCD 3	5.21	0.04	A	5.94	0.05	A	1.87	0.03	A	2.5	0.03	A
TCD 2	4.73	0.04	B	5.13	0.05	B	1.7	0.03	B	2.25	0.03	B
TCD 1	4.42	0.04	C	4.89	0.05	C	1.61	0.03	B	2.25	0.03	B
C	3.58	0.04	D	3.98	0.05	D	1.38	0.03	C	1.78	0.03	C
TPD 1	3.22	0.04	E	3.67	0.05	E	1.23	0.03	D	1.52	0.03	D
TPD 2	2.95	0.04	F	3.35	0.05	F	0.95	0.03	E	1.23	0.03	E
TPD 3	2.93	0.04	F	3.18	0.05	F	0.93	0.03	E	1.23	0.03	E

TCD3 = tratamiento corrector de deficiencias nutrimentales K+N+Zn; TCD 2 = tratamiento corrector de deficiencias nutrimentales K+N; TCD 1 = tratamiento corrector de deficiencias nutrimentales K; TPD 1 = tratamiento promotor de desbalances nutrimentales B; TPD 2 = tratamiento promotor de desbalances nutrimentales B+Ca; TPD 3 = tratamiento promotor de desbalances nutrimentales B+Ca+Fe; LCEN = longitud de conos en la exposición norte de la copa; LCES = longitud de conos en la exposición sur de la copa; DCEN = diámetro de conos en la exposición norte de la copa; DCES = diámetro de conos en la exposición sur de la copa; \bar{x} = media del tratamiento en centímetros; EE = error estándar; Clas = clasificación de acuerdo con Tukey ($\alpha=0.05$).

Los conos de la exposición sur mostraron dimensiones mayores que los de la exposición norte. A pesar de que no se realizó un estudio detallado, en los recorridos por área de estudio, se observaron diferencias muy marcadas del desarrollo de la copa entre las exposiciones norte y sur. Por ejemplo, la porción de la copa expuesta hacia el sur, en todos los árboles se observa más desarrollada y vigorosa que la expuesta al norte, lo cual puede deberse a que la exposición sur recibe mayor radiación solar que la exposición norte durante el invierno. Spellman *et al.* (2015) mencionan que *P. menziesii* es una especie que puede verse afectada por heladas tardías e invernales, así como por la baja humedad relativa en el ambiente durante las heladas, lo cual confirma que es una especie muy sensible a los efectos del clima.

La prueba de Tukey con un nivel de significancia de 5% para el IDAP, mostró que existe diferencia significativa en al menos uno de los tratamientos aplicados (Figura 2). El mayor IDAP se obtuvo al aplicar el TCD 3. El IDAP en los árboles del TCD 3 fue casi ocho veces superior que el de los árboles del C. En general, todos los tratamientos aplicados presentaron incrementos con respecto al C, aunque las diferencias de los tratamientos promotores de desbalances nutrimentales con respecto al C, no fueron estadísticamente significativas de acuerdo con la prueba de Tukey ($p < 0.05$).

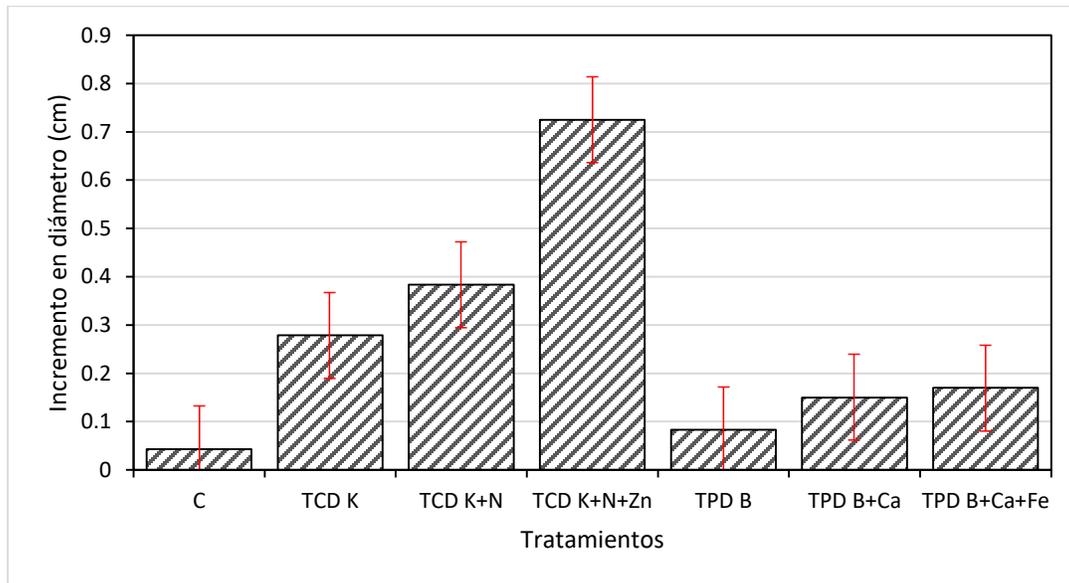


Figura 2. Incremento de diámetro a la altura del pecho (IDAP) durante el período experimental, en árboles de *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco, sujetos a tratamientos de fertilización e insecticida, en Ixtacamaxtitlán, Puebla.

La Figura 3 indica que el TCD 3 promovió la mayor biomasa de acículas, seguido por el TCD 2 y el TCD 1, respecto al C. Los aumentos en biomasa foliar generada por los TCD 3, TCD 2 y el TCD 1, fueron tan grandes, que promovieron la dilución de todos los macronutrientes estudiados (López y Alvarado, 2010). En general, los tratamientos promotores de desbalances (TPD 1, TPD 2 y TPD 3) redujeron el crecimiento de acículas, además de interferir negativamente en la acumulación de los macronutrientes en el follaje, quizás debido a efectos de toxicidad de los nutrientes aplicados, combinados con antagonismos entre los macronutrientes analizados y los aplicados (López y Alvarado, 2010).

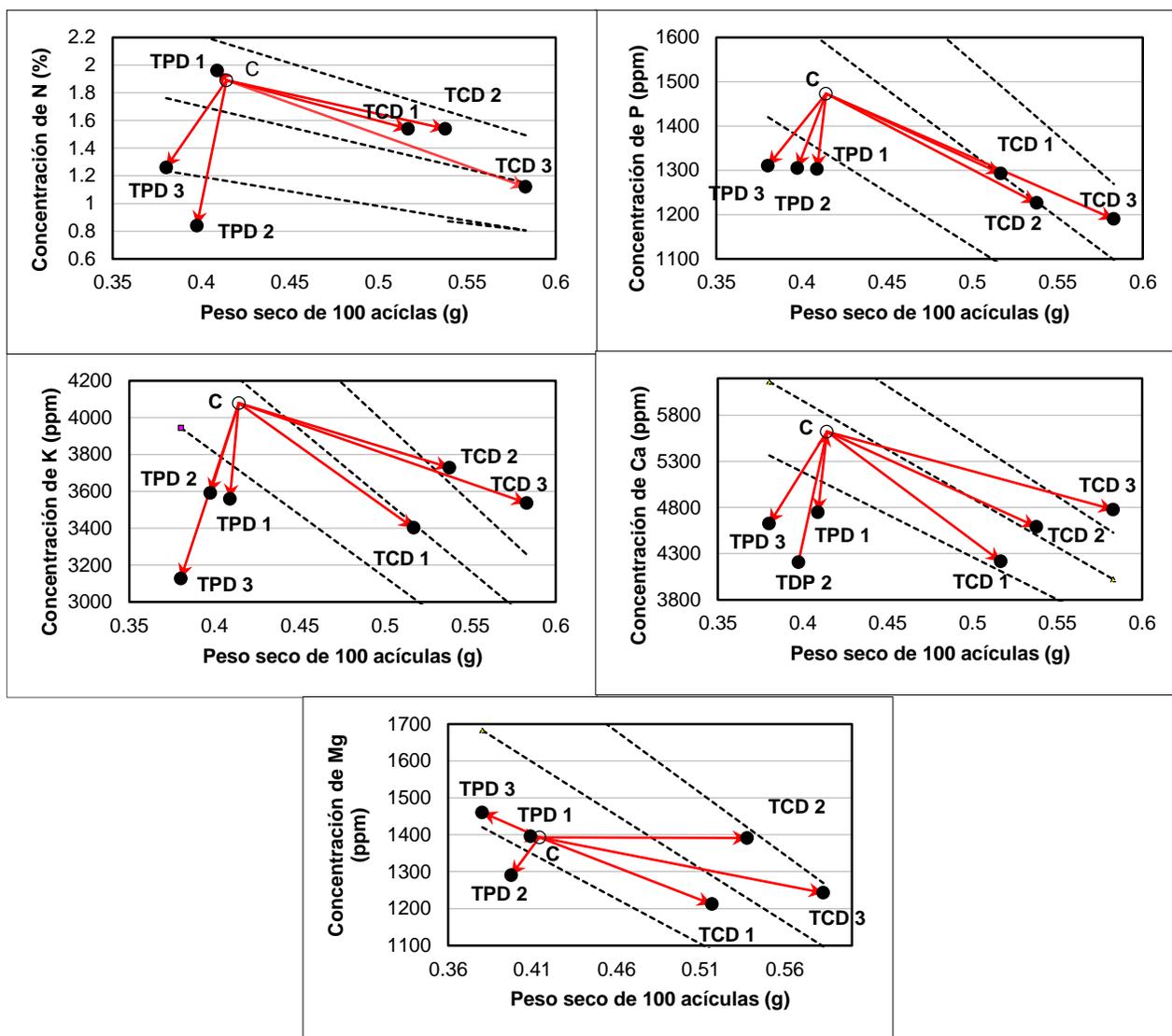


Figura 3. Diagramas de vectores de Timmer para la interpretación de macronutrientos foliares en árboles de *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco, sujetos a tratamientos de fertilización e insecticida.

La Figura 4 muestra que los tratamientos correctores de deficiencias (TCD 1, TCD 2 y TCD 3) promovieron el crecimiento de acículas respecto al C. Además, TCD 3 y TCD 1 promovieron una mayor absorción de Fe, Cu, Zn y B, por lo que el follaje tuvo un mayor contenido de estos micronutrientos. El TCD 2 disminuyó ligeramente la absorción de Cu respecto al testigo. Debido al incremento de biomasa foliar, el Cu y B sufrieron un efecto de dilución en los árboles que recibieron el TCD 3 y TCD 2. Además de disminuir el crecimiento de las acículas, los tratamientos

promotores de desbalances redujeron el contenido foliar de Cu, pero mejoraron los contenidos de Fe, Zn y B.

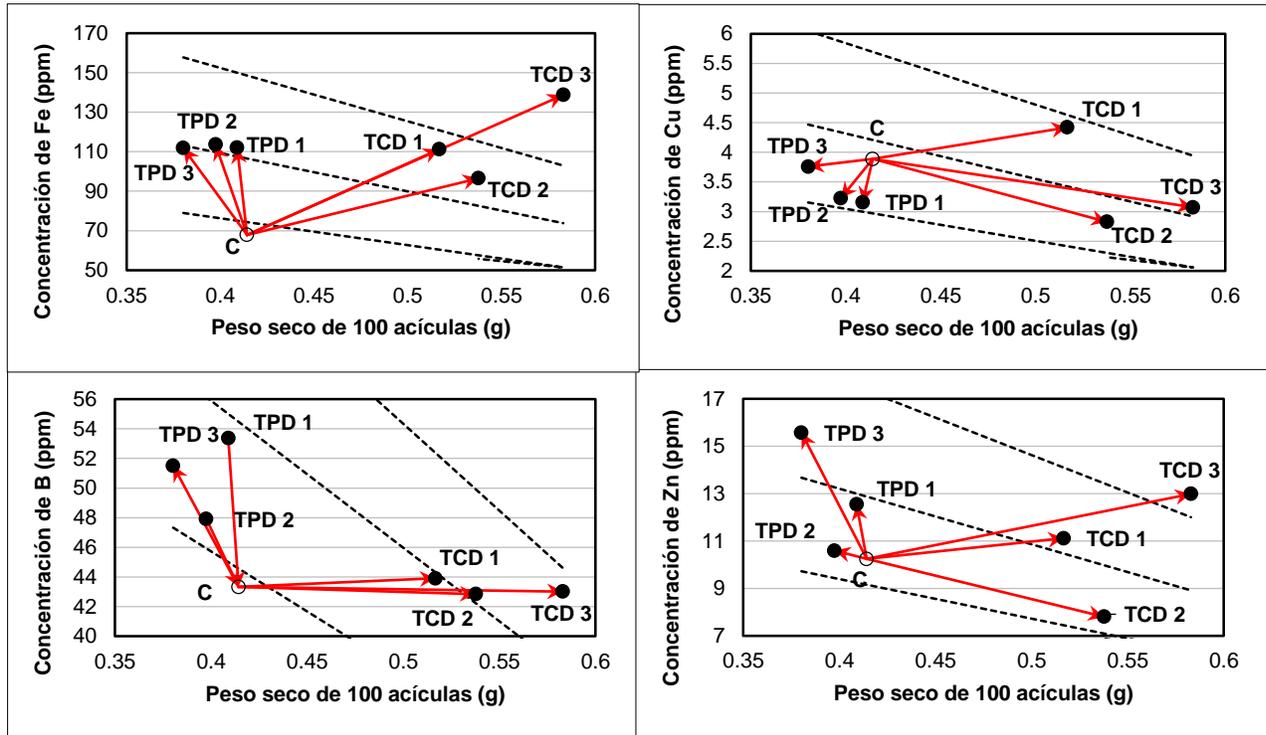


Figura 4. Diagramas de vectores de Timmer para la interpretación de micronutrientos foliares en árboles de *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco, sujetos a tratamientos de fertilización e insecticida.

Los resultados de este trabajo muestran que los tratamientos correctores de deficiencias (TCD 3, TCD 2 y TCD 1) lograron disminuir efectivamente la incidencia de *Apolychrosis ferruginus* en los conos. Además, incrementaron la biomasa de acículas en comparación con el tratamiento testigo y resultaron ser los mejores tratamientos en términos de crecimiento de los árboles (DAP y peso seco de 100 acículas), mostrando diferencias estadísticas con el tratamiento testigo (Figura 2).

1.6. CONCLUSIONES

La aplicación de nutrientes deficientes al arbolado plagado mediante la fertilización al suelo, es efectiva para mitigar la incidencia de *Apolychrosis ferruginus* en conos de *Pseudotsuga menziesii*. La aplicación de nutrientes no deficientes en árboles plagados es contraproducente para disminuir la incidencia de *Apolychrosis ferruginus* en los conos y fue similar al tratamiento testigo. Los tratamientos que corrigen las deficiencias nutrimentales de los árboles plagados, son los que mejoran el incremento en diámetro; además, estos tratamientos aumentan la biomasa de las acículas y las dimensiones de los conos en las exposiciones norte y sur de la copa de los árboles.

El TCD 3 es el tratamiento más plausible para disminuir la incidencia de *Apolychrosis ferruginus* en conos de *Pseudotsuga menziesii*, además de ser el tratamiento que produce las mayores dimensiones en los conos en ambas exposiciones de la copa. Cuanto mayor es el número de deficiencias nutrimentales corregidas por tratamientos de fertilización, mayor es su efecto reductor de la incidencia de *A. ferruginus*; contrariamente, cuanto mayor es el número de nutrimentos no deficientes aplicados, mayor es su efecto promotor de la incidencia de la plaga.

Los tratamientos promotores de desbalances nutrimentales en el arbolado disminuyen la biomasa de las acículas, así como las dimensiones de los conos en las exposiciones norte y sur de la copa. El crecimiento de los conos y la incidencia de *Apolychrosis ferruginus*, son sensibles a la ubicación del cono dentro de la copa del árbol; la plaga tiene mayor presencia en la orientación sur de la copa de los árboles.

1.7. LITERATURA CITADA

Bryant, J. P., Chapin, F. S., and Klein, D. R. (1983). Carbon/nutrient balance of boreal plants in relation to vertebrate herbivory. *Oikos*, 40(3) 357-368. doi: 10.2307/3544308

Castellanos, I. F. J., and Espinosa, G. J. (1997). Plant secondary metabolite diversity as a resistance trait against insects: a test with *Sitophilus granarius* (Coleoptera: Curculionide) and seed secondary metabolites. *Biochemical Systematics and Ecology*, 25(7), 591-602. doi: 10.1016/S0305-1978(97)00045-8

Cibrián, T. D., Méndez M. J., Campos B. R., Yates O. H., y Flores L. J. (1995). Insectos forestales de México/Forest insects of México Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, Edo. de Méx., México/ USDA Forest Service. Asheville, NC. USA. 453 p.

Coley, P. D., Bryant, J. P., and Chapin, F. S. (1985). Resource availability and plant antiherbivore defense. *Science*, 230(4728), 895-899. doi: 10.1126/science.230.4728.895

Espinosa, F. N., Arriola, P. V. J., Guerra, C. V., Cibrián, Ll. V., Galindo, F. G. (2014). Control de plagas en conos y semillas de *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco mediante insecticidas sistémicos. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 23(12), 30-41.

Franceschi, V. R., Krokene, P., Christiansen, E., Krokling, T. (2005). Anatomical and Chemical Defenses of Conifer Bark Against Bark Beetles and Other Pests. *New Phytologist*, 167(2), 353-375. doi: 10.1111/j.1469-8137.2005.01436.x

Gerson, E. A., G. Kelsey, R. y S. Clair, J. B., (2009). Genetic variation of piperidine alkaloids in *Pinus ponderosa*: a common garden study. *Annals of Botany*, 103(3), 447-457. doi: 10.1093/aob/mcn228

Gupta, P. K., and Holmstrom, D. (2005). Douglas-Fir (*Pseudotsuga menziesii*). *Protocol for Somatic Embryogenesis in Woody Plants*, 1(77)25-34. Available on: https://link.springer.com/chapter/10.1007/1-4020-2985-3_3

- Larcher, W. (1995). *Physiological plant ecology* (3rd edition). Springer. Germany. 514 p.
- Lavadinović, V., Isajev, V., Rakonjac, L., Popović, V., and Lučić, A. (2013). Douglas-fir provenance phenology observations. *Ekologia*, 32(2), 376-382. doi:10.2478/eko-2013-0035
- López, L. M. A., and Alvarado, L. J. (2010). Interpretation of vector analysis nomograms for nutrient diagnosis of forest tree species. *Madera y Bosques*, 16(1), 99-108. Available on: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-04712010000100007&lng=es&tlng=es.
- López, L. M. A., y Estañol, B. E. (2007). Detección de deficiencias de hierro en *Pinus leiophylla* a partir de los efectos de dilución y concentración nutrimental. *Terra Latinoamericana*. 5(1), 9-15. Available on: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57311513002>
- Pastorino, M. (2009). Bases genéticas de la resistencia de los árboles a las plagas. Serie Técnica: Manejo Integrado de Plagas Forestales. *Cambio Rural*, 4(1). 1-13. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/235437649_Bases_geneticas_de_la_resistencia_de_los_arboles_a_las_plagas
- Pérez, C. M., López, L. M. A., Equihua, M. A., Cetina, V. M. A., Méndez, J. T. M., (2013). Relationships between site factors and bark beetle attack on pine trees. *Journal of Biological Sciences*, 13(1), 621-627. doi: 10.3923/jbs.2013.621.627
- Podrázský, V. (2015). Potential of Douglas-fir as a partial substitute for Norway spruce-review of the newest Czech literatura. *Beskydy*, 8(1), 55-58. doi: 10.11118/beskyd201508010055
- Reyes, H. V., Vargas, J. J. H., López, J. U., y Vaquera, H. H. (2006). Similitud fenotípica de poblaciones mexicanas de *Pseudotsuga* Carr. *Agrociencia*, 40(4), 545-556. Disponible en: <https://www.agrociencia-colpos.mx/index.php/agrociencia/article/view/487>
- Reyes, H. V., Vargas, J. J. H., López, J. U., y Vaquera, H. H. (2005). Variación morfológica y anatómica en poblaciones mexicanas de *Pseudotsuga* (Pinaceae). *Acta Botánica Mexicana*. 70(1), 47-67. doi: 10.21829/abm70.2005.987
- Silva, M. M. da, Boeger, M. R. T., Melo Júnior, J. C. F. de, & Santos, B. F. S. dos. (2017). Antiherbivory defense mechanisms along an environmental gradient in restinga. *Acta Botanica Brasilica*, 31(4), 583-596. doi:10.1590/0102-33062017abb0082
- Spellmann, H., Weller A., Brang, P., Michiels, H. G., and Bolte, A. (2015). Douglasie (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco). *Göttinger Forstwissenschaften*, 7(12), 187-217.
- War, A. R., Paulraj, M. G., Ahmad, T., Buhroo, A. A., Hussain, B., Ignacimuthu, S., & Sharma, H. C. (2012). Mechanisms of plant defense against insect herbivores. *Plant Signaling & Behavior*, 7(10), 1306–1320. doi:10.4161/psb.21663
- Wilson, E., Gilles, S. M., and Ligot, G. (2020). The Douglas Fir Needle Midg (*Contarinia pseudotsugae*) A potential threat to Douglas fir in the United Kingdom and Ireland? *Quarterly Journal of Forestry*, 114(4), 244-250. Disponible en: <https://orbi.uliege.be/handle/2268/250137>
- Wink, M. (1999). Introduction: Biochemistry, role and biotechnology of secondary metabolites. p 1-17. In: M. Wink M. (ed.). *Biochemistry of plant secondary metabolism*. Annual Plant Reviews. Sheffield Academic Press Ltd. London, UK. 374 p.

Zavala, Ch. F., y Méndez, T. M. (1996). Factores que afectan la producción de semillas de *Pseudotsuga macrolepis* Flous en el estado de Hidalgo, México. *Acta Botánica Mexicana*, 36(1), 1-13. doi: 10.21829/abm36.1996.756

CHAPTER II. NUTRIENT MANAGEMENT OF *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco ALLOWS TO REDUCE THE INCIDENCE OF *Apolychrosis ferruginus* (Pogue)

2.1. ABSTRACT

Infestations of *Apolychrosis ferruginus* impact *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco trees in stands at Puebla, Mexico. The pest is responsible for the sparse regeneration of this species in the study area. The study aimed to evaluate the biological feasibility of injection of deficient nutrients to tree xylem to decrease the incidence of the pest on *P. menziesii*. Soil and foliage analyses were used to detect nutrient deficiencies in trees. Subsequently 16 even-sized trees were randomly selected within the experimental area, and four fourfold-replicated treatments were randomly assigned to them, with an individual tree being the experimental unit. Treatments tested were as follows: no fertilization treatment, or control (C); deficiency correcting treatment (DCT); nutrient imbalance promoting treatment (PIT); and systemic insecticide treatment (SIT). In the north- and south-facing aspects of tree crowns, we evaluated the number of pupae per cone, cone dimensions, and tree diameter increment, occurring between may and september, 2019. SIT generated lower growth than DCT, but it was the most effective treatment at reducing the incidence of the pest, followed by DCT. PIT was statistically the same as C as for the incidence of the pest. The application of deficient nutrients is an effective strategy to mitigate the incidence of *A. ferruginus*.

Keywords: nutrient deficiency, pest incidence, tree injection, *Pseudotsuga menziesii*.

2.2. RESUMEN

Infestaciones de *Apolychrosis ferruginus* impactan árboles de *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco en rodales en Puebla, México. La plaga es responsable de la escasa regeneración de esta especie en el área de estudio. Éste trabajo tuvo como objetivo evaluar la factibilidad biológica de la inyección de nutrimentos deficientes al xilema del árbol para disminuir la incidencia de la plaga en *P. menziesii*. Se utilizaron análisis de suelo y follaje para detectar deficiencias de nutrimentos en los árboles. Posteriormente, se seleccionaron aleatoriamente 16 árboles de tamaño uniforme dentro del área experimental, y se les asignaron aleatoriamente cuatro tratamientos replicados cuatro veces, siendo un árbol la unidad experimental. Los tratamientos probados fueron los siguientes: sin tratamiento de fertilización o control (C); tratamiento de corrección de deficiencias (DCT); tratamiento que promueve el desequilibrio de nutrientes (PIT); y tratamiento con insecticida sistémico (SIT). En el norte y sur de las copas de los árboles, evaluamos el número de pupas por cono, las dimensiones del cono y el incremento del diámetro del árbol entre mayo y septiembre de 2019. SIT generó un crecimiento menor que DCT, pero fue el tratamiento más eficaz para reducir la incidencia de la plaga, seguido de DCT. PIT fue estadísticamente igual a C en cuanto a la incidencia de la plaga. La aplicación de nutrimentos deficientes es una estrategia eficaz para mitigar la incidencia de *A. ferruginus*.

Keywords: deficiencias de nutrimentos, incidencia de plagas, inyección de árboles, *Pseudotsuga menziesii*.

2.3. INTRODUCTION

Pseudotsuga menziesii (Mirb.) Franco has a wide distribution in North America and is one of the most cultivated forest species, outside its natural distribution area (Ventura *et al.*, 2010). In Mexico, the species grows naturally in the Northern Sierra Madre Occidental, in the states of Chihuahua, Durango, Sonora and Zacatecas, and in the Northern Sierra Madre Oriental in Nuevo Leon, Coahuila, and Tamaulipas (Del Castillo *et al.*, 2004). This species can also be found in small forest stands in the Eastern Trans-Mexican Volcanic Belt, in Central Mexico (Reyes *et al.*, 2006). Two small populations were reported in Oaxaca, Mexico (Dominguez *et al.*, 2004).

In the central states of Mexico, this species grows in small populations and it is referred to as a species under special protection according to the NOM-059-SEMARNAT-2001 (SEMARNAT, 2010). In this region, the populations of *P. menziesii* are isolated, generally mixed and dominated by other species such as *Abies religiosa* (Kunth) Schltdl. & Cham. (Dominguez *et al.*, 2004).

Currently, there are few studies on the possible relationships between tree nutrition and pest incidence in natural forests, as well as on control methods for forest pests. The supply of nutrient-diagnosis-based deficient nutrients can significantly diminish the incidence of tree pests (Lopez and Estañol, 2007; Perez *et al.*, 2013; Calixto *et al.*, 2015). Fertilizers can be applied directly to the ground as solid materials or by using fertigation techniques as well (Agusti *et al.*, 2010; Mattos *et al.*, 2012). Recently, injection of nutrient solutions to tree trunk has been tested to improve tree defenses (Grosman *et al.*, 2002). Through this system, the product is applied directly to the xylem, from which site it is then translocated to other tree tissues (Iglesias *et al.*, 1992).

This study intended to evaluate the biological feasibility of diminishing the incidence of *Apolychrosis ferruginus* on cones of *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco by improving tree nutrient status, through the application of the deficient nutrients.

2.4. MATERIALS AND METHODS

2.4.1. Study area

The study area is located at the community of La Caldera, municipality of Ixtacamaxtitlan, Puebla, Mexico, which coordinates are 19° 30' 34'' N, and 97° 51' 56'' W, with a mean elevation around 2950 m (Figure 5).

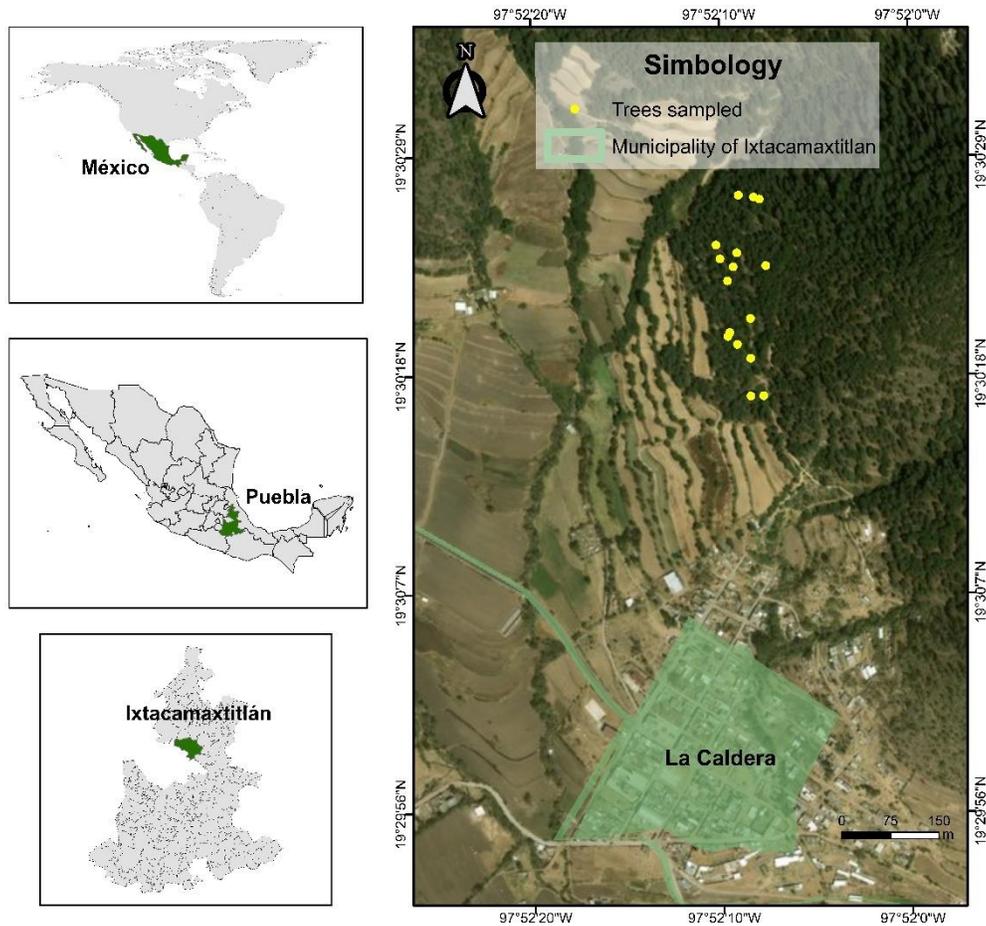


Figure 5. Geographical location of the study area.

2.4.2. Sampling and preliminary analysis

In May 2018, soil and needle samples were collected in the study area (six and four samples, respectively). Soil samples were obtained at a depth of 30 cm; the foliar samples were obtained from the highest third of the tree crowns. Soil samples were processed at the Salvador Alcalde Blanco Laboratory (Colegio de Postgraduados, Mexico), where organic matter, pH, cation exchange capacity (CEC), and total content of N, P, K, Ca, Mg, Fe, Cu, Zn and Mn was determined. Chemical methods were those described by the NOM-SEMARNAT-021 (SEMARNAT 2001).

On the foliar samples, concentrations of N, P, K, Ca, Mg, Fe, Cu, Zn, Mn and B were determined in the above mentioned laboratory. Except for N, determinations were made on the extract of the humid digestion of foliage with sulfuric and perchloric acids and hydrogen peroxide as well

(1.3:0.7:1, v:v:v) (Alcantar and Sandoval 1999). The extracts were processed in a plasma induction and emission spectrometry equipment (Agilent 725 Series ICP-OES). The N concentration was determined on a 10 mL aliquot from the previously described extract, through the distillation of the sample and valuation through titration with sulfuric acid (Alcantar and Sandoval 1999).

Foliar analyses were interpreted by using the critical concentrations for *P. menziesii* (Ballard and Carter, 1986). Soil analyses were interpreted according to the Mexican official standard “NOM-SEMARNAT-021-SEMARNAT-2001” (SEMARNAT, 2001). Foliar analysis indicated acute K deficiencies, while soil analysis allowed detecting N and Zn deficiencies at the study area. Based on these results, we designed four treatments to be tested: (1) no-fertilization (control); (2) nutrient-deficiency correcting treatment; (3) nutrient-status unbalancing treatment; and (4) systemic insecticide treatment. The doses of the applied fertilizers were based on the rational method proposed by Rodriguez (1993), adapted for plant tissue.

2.4.3. Experimental design

A complete randomized experimental design was used with four replicates per treatment, where the experimental unit was a tree. The generic model used is represented in equation 1.

$$Y_{ij} = \mu_i + \tau_i + \varepsilon_{ij} \quad (1)$$

Where Y_{ij} = observation of the j^{th} experimental unit from the i^{th} treatment, μ_i = mean of the i^{th} treatment, τ_i = effect of the treatment i^{th} , ε_{ij} = experimental error, j = experimental unit.

In the experimental site, 16 trees in cone production were selected, and measured their diameter at breast height (DBH) was measured at 1.30 m from the ground. The treatments were: (1) control (C); (2) deficiency correcting treatment (DCT, K+N+Zn); (3) imbalanced-nutrition promoting treatment (IPT, B+Ca+Fe); and (4) application of the systemic insecticide Monocrofos® (SIT). The doses and fertilizing materials applied to the corresponding experimental units were 115 g of urea per tree for N. Furthermore, were added 50 g of potassium sulfate per tree for K. After this were added 250 g of Sagaquel-Ca® per tree for Ca; 7 g of Sagaquel-Fe® per tree for Fe; 3 g of Sagaquel-Zn® per tree for Zn; 4.5 g of Nutriboro® per tree for B; and finally was added 5 mL of a solution containing 18 % Monocrofos® (vol:vol) per centimeter of DBH (Espinosa et al., 2014).

2.4.4. Application of treatments

Treatments were applied in may 2019. All fertilizers were diluted in distilled water before the application. To apply the solutions to tree xylem, a low-pressure injection system (manual pump) was used. The doses applied per tree were distributed in five points around the lower tree trunk (lowest 40 cm). The trees corresponding to DCT received 120 mL of nutrient solution, while those of PIT received 180 mL of nutrient solution. The trees corresponding to SIT were injected with 5 mL per cm of DBH. The evaluation of the experiment was done at the end of september of 2019.

2.4.5. Variables evaluated

Five cones were collected from the north-facing section of the upper tree crown and five from the south-facing one. Cone length and diameter were measured before dissection of cones for examination and recording of the number of pupae per cone. Cone diameter was measured in the middle section of cone, with a digital caliper (Mitutoyo®, CD 67-S6). Trees were initially labeled according to treatment assigned, and DBH was marked and measured at the beginning and at the end of the experimental period (may to december, 2019) with a Jackson MS® diameter-measuring tape, to estimate the diameter increment. Foliage samples were collected for chemical analyses in December 2019.

2.4.6. Data analysis

Data was processed in InfoStat. Before analyses, the variables were verified for complying of the assumptions of the variance analysis (normality, homogeneity of variance and independence). Variables meeting the assumptions were processed through ANOVA and Tukey tests ($\alpha=0.05$), otherwise, Kruskal-Wallis and range contrast tests were performed. Foliar nutrient concentrations were interpreted by using the vector analysis technique (Timmer and Stone, 1978).

2.5. RESULTS

Table 6 shows that treatments are different from each other, as for the number of pupae. In average, control trees (C) showed the highest number of pupae per cone, followed by trees from PIT. Trees from SIT presented the lowest number of pupae per cone, followed by those from DCT.

Table 6. Kruskal-Wallis tests and ranges for the number of pupae per cone in *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco trees subjected to fertilization and insecticide treatments.

Treatment	N	Mean	SD	Median	H	p-value	Range	Clas
C	40	2.75	0.67	3.0	95.98	<0.0001	122.4	C
DCT	40	1.25	0.98	1.0			66.1	B
PIT	40	2.25	0.67	2.0			104.2	C
SIT	40	0.25	0.44	0.0			29.2	A

n = number of samples; SD = standard deviation; Median = treatment median; H = Kruskal-Wallis test value; Class = classification of treatments.

Table 7 shows that the number of pupae per cone is significantly higher in cones from the south-facing aspect than in those from the north-facing one of the tree crowns.

Table 7. The Mann – Whitney test for the number of pupae per cone in south- and north-facing sections of *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco tree crowns.

TCS	n	Mean	LCL	UCL	Var	p_{HomVar}	df	p-value
N	80	1.13	-1.8	-0.2	1.00	0.153	158	<0.0001
S	80	2.13			1.38			

TCS = tree crown section; n = number of samples; SD = Standard desviation in the north and south exposures of crown; W = sum of the ranks in the smallest sample size; p-value = valor de la prueba de Mann - Whitney.

Table 8 reveals significant differences among treatments regarding the number of pupae per cone in both sections (north and south) of tree crowns. Based on these differences, we decided to separate the forthcoming Kruskal-Wallis analyses by tree crown sections.

Table 8. Kruskal-Wallis test for the number of pupae per cone in North- and South-facing sections of crowns of *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco trees subjected to fertilization treatments.

Treatments	North-facing section of tree crown (N)					South-facing section of tree crown (S)				
	Mean	SD	Median	H	p-value	Mean	SD	Median	H	p-value
C	2.25	0.44	2.0	59.81	<0.0001	3.25	0.44	3.0	54.98	<0.0001
DCT	0.50	0.51	0.5			2.00	0.73	2.0		
PIT	1.75	0.44	2.0			2.75	0.44	3.0		
SIT	0.00	0.00	0.0			0.50	0.51	0.5		

SD = standard deviation; H = Kruskal–Wallis test value.

SIT and DCT were the most plausible treatments, with significant differences between them only in the south-facing section of tree crowns (Table 9). The PIT was statistically the same as C and both were statistically lower than SIT and DCT, in both, the north- and south-facing sections of tree crowns. The ANOVA for both cone dimensions (length and diameter) in the north- and south-facing sections of tree crowns, showed highly significant differences between treatments ($p < 0.0001$).

Table 9. Range test for the number of pupae per cone in *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco trees subjected to fertilization and insecticide treatments.

Treatments	North section		South section	
	Ranges	Class	Ranges	Class
SIT	15.50	A	11.75	A
DCT	26.75	A	35.50	B
PIT	54.88	B	51.75	C
C	64.88	B	63.00	C

Class = classification for treatments with Tukey test at 5% of significance level.

In both crown sections, the PIT and DCT treatments promoted cone length, followed by the SIT and C treatments (Table 10). The SIT showed cones with greater lengths than the control, but these were shorter than those of the DCT and PIT.

Table 10. Tukey test ($\alpha=0.05$) for length and diameter of female cones from the north- and south-facing sides of *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco trees subjected to fertilization and insecticide treatments.

T	LCNS			LCSS			DCNS			DCSS			
	Mean	SE	Class										
	(cm)			(cm)			(cm)			(cm)			
C	4.89	0.03	A	5.28	0.03	A	1.18	0.03	A	1.44	0.02	A	
PIT	5.81	0.03	C	6.35	0.03	C	1.86	0.03	C	2.34	0.02	C	
DCT	5.81	0.03	C	6.39	0.03	C	1.75	0.03	B	2.30	0.02	B	
SIT	5.61	0.03	B	6.12	0.03	B	1.82	0.03	B	C	2.19	0.02	C

T = Treatments; LCNS = length of cones from the north-facing section of tree crowns; LCSS = length of cones from the south-facing section of tree crowns; DCNS = diameter of cones from the north-facing section of tree crowns; DCSS = diameter of cones from the south facing section of tree crowns; SE = standard error; Class = c Class = classification for treatments with Tukey test at 5% of significance level.

The most plausible treatment to increase the diameter of the cones located on both crown sections was PIT, followed by SIT and DCT, in the north and south-facing sections, respectively. The C presented the lowest dimensions in both crown sides. Regarding cone diameter, in the north-facing section of tree crowns, DCT was statistically the same as SIT; however, in the south-facing side, DCT was significantly higher than SIT (Table 10). The Tukey test ($\alpha=0.05$) for DBH increment (IDBH), showed significant differences ($\alpha=0.05$) among the treatments applied (Figure 6). The highest IDBH corresponded to DCT, and was sevenfold that of C. No significant differences were shown between PIT and SIT, nor between these treatments and C ($p < 0.05$).

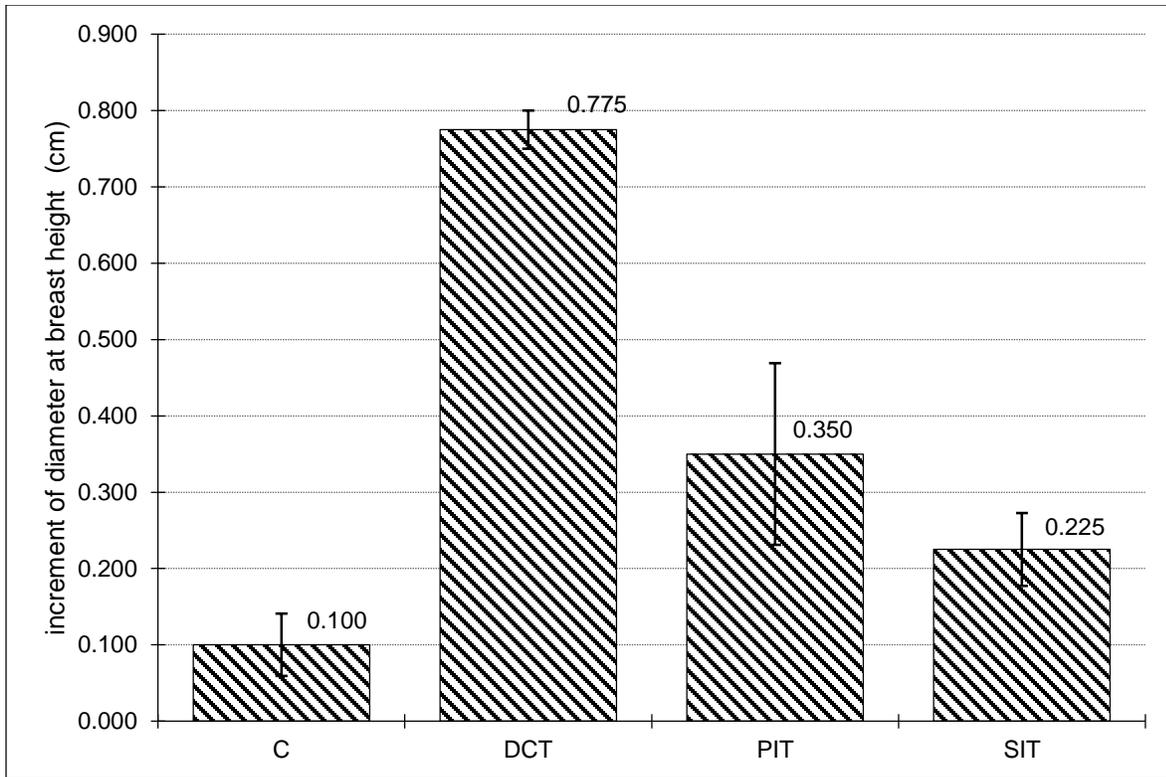


Figure 6. DBH Increment (IDBH) during the experimental period, for *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco trees exposed to fertilization and insecticide treatments, at Ixtacamaxtitlan, Puebla, Mexico.

Figure 7 shows that DCT promoted the highest needle biomass, followed by SIT. Promotion of foliar biomass by DCT was such that it gave rise to dilution of all macronutrients studied, except Ca (López and Alvarado, 2010). SIT promoted accumulation (content) of N and Ca, but generated dilution of P by increasing growth; it also reduced accumulation or absorption of K and Mg. PIT reduced needle growth and negatively interfered on accumulation of macronutrients in foliage, except N.

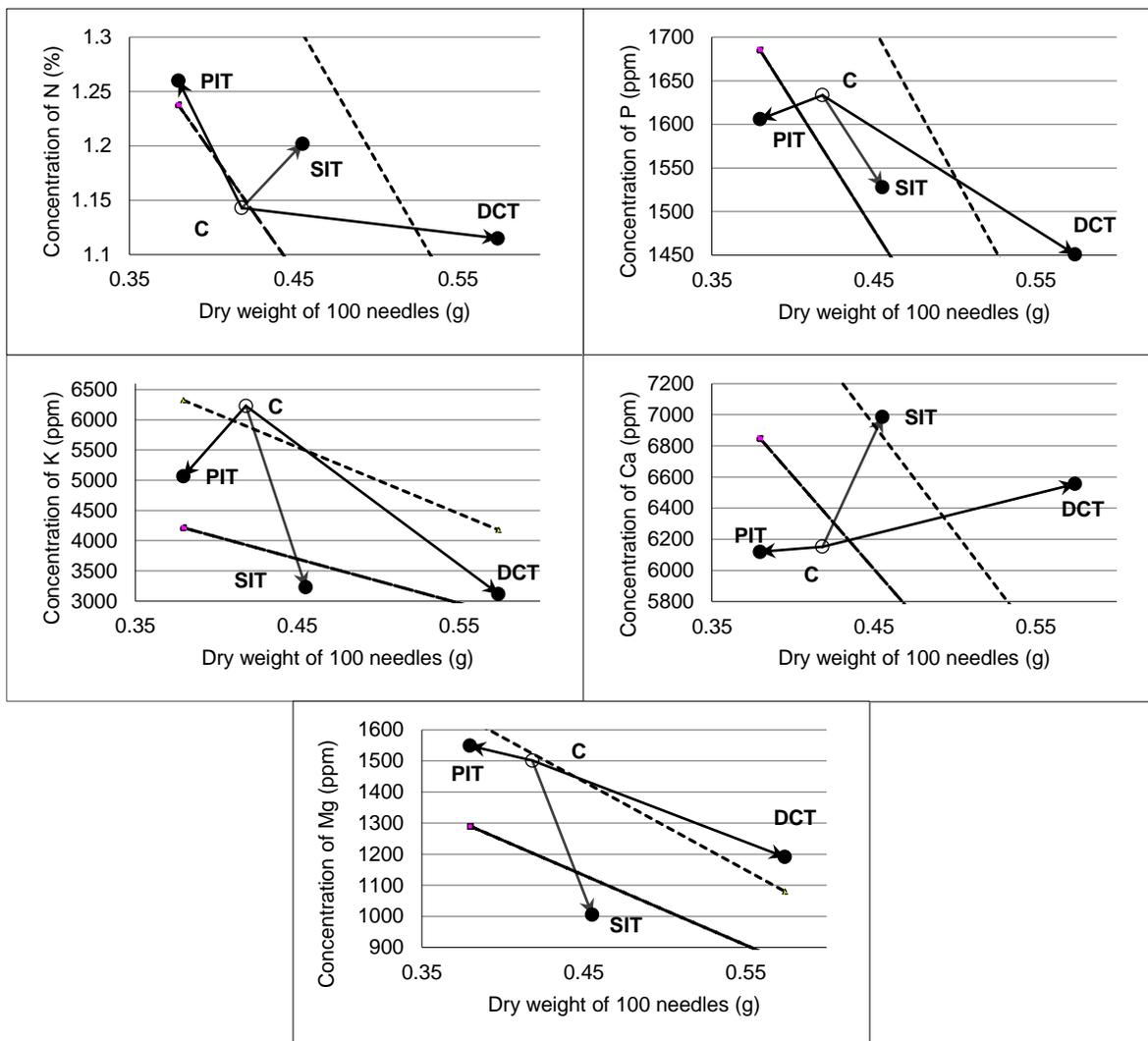


Figure 7. Timmer vector diagrams for interpretation of foliar macronutrients in *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco trees subjected to fertilization and insecticide treatments.

DCT and SIT showed higher needle growth than C (Figure 8); however, these treatments negatively interfered with Cu and Mn absorption, which resulted in lower content of these micronutrients in foliage. Contents of Fe, Zn and B were improved by DCT, while only B content was risen by SIT. Because of the increase in foliar biomass, B suffered a dilution effect in trees receiving DCT. Besides, of diminishing needle growth, PIT reduced the foliar contents of Cu, Zn and Mn, although it improved Fe and B ones.

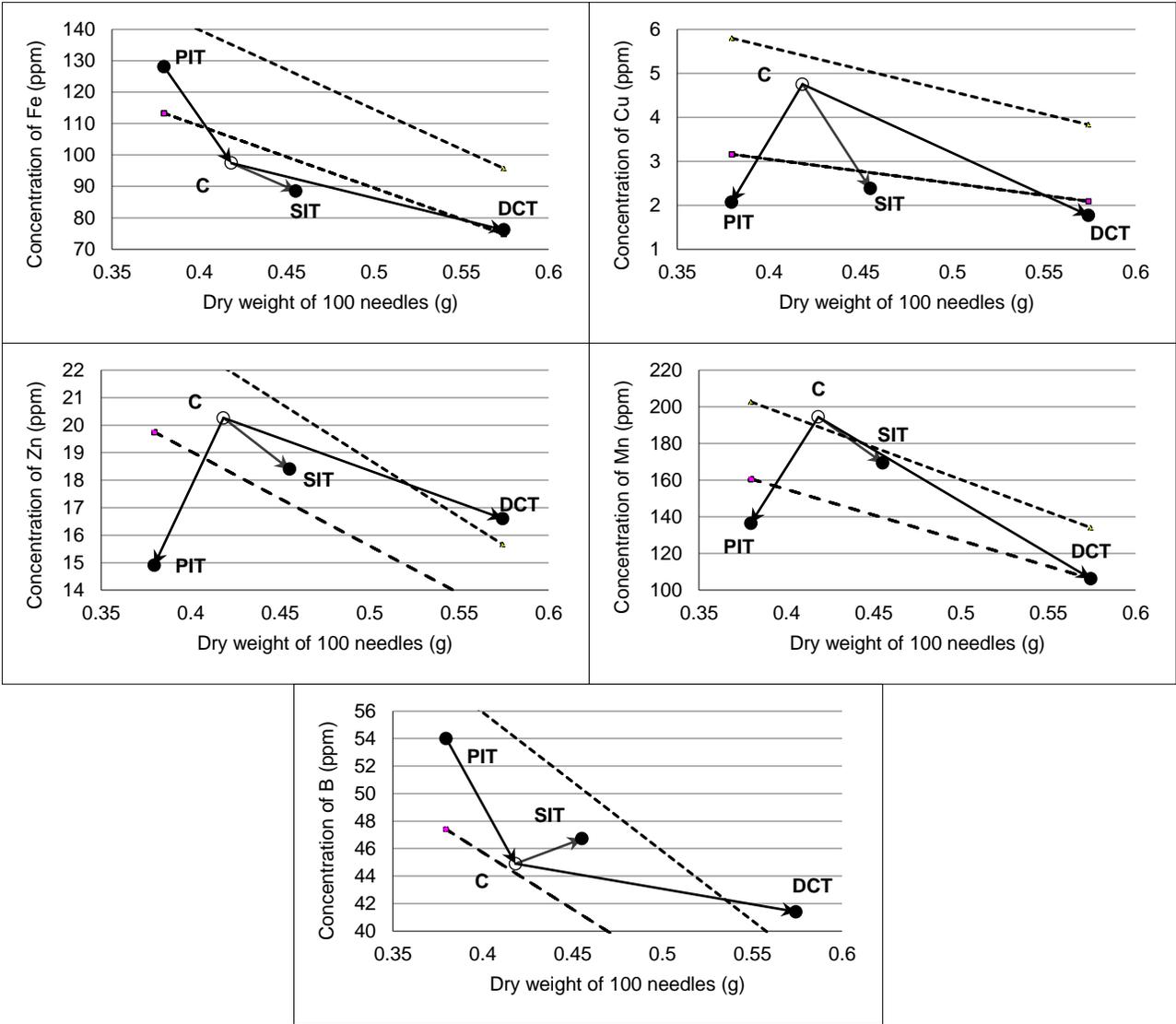


Figure 8. Timmer vector diagrams for interpretation of foliar micronutrients in *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco trees subjected to fertilization and insecticide treatments.

2.5. DISCUSSION

Damage observed in the studied site was severe since every cones collected were affected by the pest. This finding is like that from Espinosa *et al.* (2014) for Tlaxcala, Mexico, who found 46% damage by *Apolychrosis ferruginus* and *Dioryctria pinicolella* in cones of *Pseudotsuga menziesii*. Zavala and Mendez (1996) also reported a damage of 45.7% in cones of *Pseudotsuga macrolepis*

Flous in the state of Hidalgo, Mexico. However, our research reveals even high levels of damage (100 %) in the study site.

A plausible cause for the incidence of the pest in *Pseudotsuga menziesii* is the weakening of the trees by incompatibility with the current weather (Arreola-Ortiz *et al.*, 2010). In fact, the populations of this species in Central Mexico are just relicts, while in Northern Mexico there are still large areas dominated by this species. This leads to think that such a fragmentation of populations in Central and Southern Mexico may have been caused by gradual climate change, which probably resulted in a rather inappropriate environment for the species. Another possible cause, also related to climate change, is a likely widening of the range of distribution of the pest, through migration processes towards colder regions (De Grandpre *et al.*, 2018; Mathew and Maria, 2018).

Results of this study showed that the most effective control method for the pest was SIT (Treatment with the systemic insecticide Monocrotofos®), followed by DCT (deficiency correcting treatment), while PIT (nutrient imbalance promoting treatment) produced statistically similar results to C (control with no fertilization) for all variables, except for cone dimensions, in which cases it induced greater cone length and diameter. The positive effect of Monocrotofos® is already documented in the study by Espinosa *et al.* (2014) for the state of Tlaxcala, Mexico.

Studies on the effects of chemical fertilization on the incidence of forest pests have resulted in mixed patterns. Bakke (1969) found that fertilization with nitrogen improved cone production, but also, it improved performance and development of cone-feeding *Laspeyresia strobilella* Linnaeus larvae in Southern Norway. This effect was contrary to the expected one.

Fertilization in forests of the United States of America promoted the development of defoliating insects, which was attributed to the improved nutritional quality of leaves and needles consumed,

to a reduction in the effectiveness of the defense system of the host, or to the combination of both factors (Joseph *et al.*, 1993). In other cases, fertilization clearly improved the nutritional quality of leaves by increasing N and soluble amino acid contents (Joseph *et al.*, 1993).

Sap sucking insects and mites benefit from fertilization by an augmented concentration of amino acids in the sap and an increased growth as well. Carrow and Betts (1973) observed that fertilization, generally improved the nutritional quality of trees hosting sucking insects and proved that the effect of nitrogen fertilizers on sap amino acids and sap-feeding aphid populations, varied depending on the source of nitrogen used. Accordingly, an increased concentration of nitrogen not necessarily benefits the insects. Studies from Canada and the United States of America show that fertilization with nitrogen diminished adelgidae establishment (Carrow and Betts, 1973). Our study showed that a key aspect to diminish the incidence of *Apolychrosis ferruginus*, is the application of deficient nutrients alone, since application of non-deficient nutrients to trees leads to pupae populations as high as those from control trees.

Fertilization of forest trees has shown diverse results regarding the incidence of bark and boring beetles. After a nutrient diagnosis showing iron deficiency in *Pinus leiophylla* Schltld. *et* Cham. trees affected by *Dendroctonus* sp., López and Estañol (2007) applied chelated iron (Sagaquel-Fe^(R), 8% of Fe; 400 mL Sagaquel-Fe.100 L⁻¹ of water) to foliage, accomplishing the eradication of the pest, which is consistent with our results. Pérez *et al.* (2013) reported similar results when they got a reduction of damage by *Dendroctonus adjunctus* Blandford (bark beetle) in a *Pinus hartwegii* Lindl. stand at Texcoco, Estado de Mexico, Mexico, through the application of phosphorus, which was the deficient nutrient in the site.

Calixto *et al.* (2015) applied nitrogen, phosphorus, and potassium fertilizers to *Cedrela odorata* L. trees in Papantla, Veracruz, Mexico, aiming to diminish the incidence of *Hypsipyla grandella*

Zeller. Their results showed that, in coincidence with ours, fertilization with potassium helped reduce slightly (Non-significant effect) the incidence of the pest.

In general, it has been observed that fertilization increases tree growth and vigor. Vigorous trees produce thicker and longer buds; a response that is supposed to be beneficial for the bud-feeding insects (Price 1991). However, this idea seems not to match most studies reviewed, in which cases, the levels of damage diminished after chemical fertilization. Such decreases might be attributed to an augmented production of protective metabolites in more vigorous trees after fertilization.

2.5.1. Cone dimensions

DCT, PIT, and SIT presented greater dimensions (cone diameter and length) than C. This means that probably, at least DCT and SIT promoted, as also indicated by the greater needle biomass (Figures 7-8), a greater vigor of trees, which resulted in greater dimensions of the reproductive structures. PIT and SIT possibly generated stress on trees, thus producing greater dimensions of the reproductive structures, as a survival strategy of the species (Eis *et al.*, 1965).

Cones from the south-facing section of the tree crowns showed greater dimensions than those from the north-facing side. Although no detailed study was made in this regard, during our trips along the study area, we observed differences in the development of tree crowns, between the north- and South-facing sides. The South section of tree crowns generally looks better developed and more vigorous than the north section. This may be a result of the higher solar radiation received by the south-facing sections of tree crowns, compared with the north-facing ones, especially during winter times. This, in turn could explain the higher dimensions of cones in south sections (Ayari and Khouja, 2014).

2.5.2. Nutrient status of trees.

Results showed that Monocrotofos® (SIT) effectively decreased the incidence of the pest and even improved needle biomass as compared to control trees. However, this treatment was not the best in terms of tree growth (DBH and dry weight of 100 needles) since it was statistically like that of non-fertilized control trees (Figure 6). Figure 7 proved that SIT interfered with absorption of K and Mg. Being K a deficient nutrient in the study area, such interference is likely to have exacerbated K deficiency within trees, thus decreasing their growth. It is also possible that growth decrease in SIT compared to DCT, was a result of tree toxicity by monocrotophos (Espinosa *et al.*, 2014). However, no visible toxicity symptoms were observed in our study.

2.6. CONCLUSIONS

Application of deficient nutrients to affected trees, through injection of nutrient solutions to the xylem, is as effective as injection of monocrotofos® to mitigate the incidence of *Apolychrosis ferruginus* in cones of *Pseudotsuga menziesii*. Injection of non-deficient nutrients to the trees is as ineffective as no fertilization and no application of insecticide (control trees), to diminish incidence of *A. ferruginus* in *P. menziesii* cones. Injection of deficient nutrients to trees is the only treatment that significantly improves tree diameter, although needle biomass is also improved by monocrotofos®. Application of non-deficient nutrients to trees decreases needle biomass but increases cone length as also did the application of deficient nutrients and increases cone diameter as also did the application of monocrotofos®. Both cone growth and incidence of *A. ferruginus*, are sensitive to the location of the cone within the tree crown; pest incidence is higher in the south-facing section of the tree crown than in the north-facing one.

2.7. LITERATURE CITED

Agustí, M. (2010). Fruticultura. Segunda Edición. Madrid España. Ediciones Mundi Prensa. 507 p. ISBN: 8484765296.

Alcántar, G. G., and Sandoval, V. M. (1999). Manual de análisis químico de tejido vegetal. Guía de muestreo, preparación, análisis e interpretación. Publicación especial N0 10 de la Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo A. C. Chapingo, México. 156 p.

Arreola, O. M. R., González, E. M., and Návar, C, J. J. (2010). Dendrochronology of *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco from Sierra Madre Oriental in Nuevo León, México. *Madera y Bosques*, 16(1), 71-84. doi: 10.21829/myb.2010.1611180

Ayari, A., and Khouja, M. L. (2014). Ecophysiological variables influencing Aleppo pine seed and cone production: a review. *Tree Physiology*, 34(4), 426-437. doi:10.1093/treephys/tpu022.

Bakke, A. (1969). The effect of forest fertilization on the larval weight and larval density of *Laspeyresia strobilella* (L.) (*Lepidoptera Tortricidae*) in cones of Norway spruce. *Entomology*, 63(1-4), 451-453. doi: 10.1111/j.1439-0418.1969.tb04398.x

Ballard, T., and Carter, R. (1986). Evaluating forest stand nutrient status, Ministry of Forests, British Columbia. Land Management Report N°. 20, Ministry of Forests, Queen's Printer Publications, Victoria. British Columbia. p. 60.

Calixto, V. C. G., López, L. M. A., Equihua, M. A., Lira, D. E., and Cetina, A. V. M. (2015). Growth of *Cedrela odorata* and incidence of *Hypsipyla grandella* as affected by nutrient management. *Bosque*, 36(2), 265-273. doi: 10.4067/S0717-92002015000200012.

Carrow, L., and Betts, R. E. (1973). Effects of different foliar applied nitrogen fertilizers on Balsam woolly aphid. *Canadian Journal of Forest Research*, 3(1), 122-139.

De Grandpré, L., Pureswaran, D., Bouchard, M., and Kneeshow, D. (2018). Climate-induced range shifts in boreal forest pests: ecological, economic, and social consequences. *Canadian Journal of Forest Research*, 48(3), V-VI. doi: 10.1139/cjfr-2018-0058.

Del Castillo, R. F., Pérez, J. A., Vargas, G. A., and Rivera, R. G., (2004). Coníferas. Biodiversidad de Oaxaca. A. J. García, M.M. de Ordóñez, J., (Eds.). Instituto de Biología, UNAM - Fondo Oaxaqueño para la Conservación de la Naturaleza - World Wildlife Foundation. pp:141-158.

Domínguez, A. A., Vargas, H. J. J., López, U. J., Ramírez, V. P., and Guízar, N. E. (2004). Caracterización ecológica de *Pseudotsuga menziesii* en Pinal de Amoles, Querétaro: nueva población natural en México. *Anales del Instituto de Biología de la Universidad Nacional Autónoma de México*, 75(2), 191-203. Available on: <https://www.redalyc.org/pdf/400/40075202.pdf>

Eis, S., Garman, E. H., and Ebell, L. F. (1965). Relation between cone production and diameter increment of douglas fir (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco), grand fir (*Abies grandis* (Dougl.)

Lindl.), and western white pine (*Pinus monticola* Dougl.). *Canadian Journal of Botany*, 43(12), 1553-1559. doi: 10.1139/b65-165

Espinosa, F. N., Arriola, P. V. J., Guerra, C. V., Cibrián, L. V., and Galindo, F. G. (2014). Pest control in cones and seeds of *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco with systemic insecticides. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 23(12), 30-41. doi: 10.29298/rmcf.v5i23.340

Grosman, D. M., Upton, W. W., Mc Cook, F. A., and Billings, R. F. (2002). Systemic insecticide injection for control of cone and seed insects in loblolly pine seed orchards- two years results. *Southern Journal of Applied Forestry*, 26(3), 145-152. Available on: <https://fpmc.tamu.edu/public/Grosman-SJAFSystemic-insecticides-seed-orchards.pdf>

Iglesias, D. J., and Talón, M. (2002). Descripción de una nueva técnica de aplicación de productos agroquímicos a los cítricos: “El sistema de inyección múltiple”. *Levante Agrícola*, 359(5), 53-61. Available on: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2890536>

Joseph, G. R., Kelsey, G. A., Moldenke, F. J., Miller, C. R., Berry, E., and Wernz, J. G. (1993). Effects of nitrogen and Douglas-fir allelochemicals on development of the gypsy moth, *Lymantria dispar*. *Journal of Chemical Ecology*, 19(6), 1245-1263. doi: 10.1007/BF00987384

López, L. M. A., and Alvarado, L. J. (2010). Interpretation of vector analysis nomograms for nutrient diagnosis of forest tree species. *Madera y Bosques*, 16(1), 99-108. Available on: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-04712010000100007&lng=es&tlng=es.

López, L. M. A., and Estañol, B. E. (2007). Detection of iron deficiencies in *Pinus leiophylla* from nutrient dilution and concentration effect. *Terra Latinoamericana*, 5(1), 9-15. Available on: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57311513002>

Matthew, P. A., and María, J. L. (2018). Forest pests and their management in the Anthropocene. *Canadian Journal of Forest Research*, 48(3), 292-301. doi: 10.1139/cjfr-2017-0033.

Mattos, Jr. J. D., Quaggio, A., Cantarella, H., Boaretto, R. M., and Bachiega, Z. F. C. (2012). Nutrient management for high citrus fruit yield in tropical soils. *Better Crops*, 96(1), 4-7. Available on: <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.1068.9250&rep=rep1&type=pdf>

Navarro, C., Fernández, E. R., and Benlloch, M. A. (1992). Low-pressure, trunk-injection method for introducing chemical formulations into olive trees. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 117(2), 357-360. Available on: <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US9188259>

Nowak, J. T., Meeker, J. R., Coyle, D. R., Steiner, C. A., and Brownie, C. (2015). Southern pine beetle infestations in relation to forest stand conditions, previous thinning, and prescribed burning: evaluation of the southern pine beetle prevention program. *Journal of Forestry*, 113(5), 454-462. doi:10.5849/jof.15-002.

- Pérez, C. M., López, L. M. A., Equihua, M. A., Cetina, A. V. M., and Méndez, M. J. T. (2013). Relationships between site factors and bark beetle attack on pine trees. *Journal of Biological Science*, 13(1), 621-627. doi: 10.3923/jbs.2013.621.627
- Price, P. (1991). The plant vigor hypothesis and herbivore attack. *Oikos*, 62(2), 244-251. doi: 10.2307/3545270
- Reyes, H. V., Vargas, J. J. H., López, J. U., and Vaquera, H. H. (2005). Variación morfológica y anatómica en poblaciones mexicanas de *Pseudotsuga* (Pinaceae). *Acta Botánica Mexicana*. 70(1), 47-67. doi: 10.21829/abm70.2005.987
- Reyes, H. V., Vargas, J. J. H., López, J. U., and Vaquera, H. H. (2006). Phenotypic similarity among mexican populations of *Pseudotsuga* Carr. *Agrociencia*, 40(4), 545-556. Available on: <https://www.agrociencia-colpos.mx/index.php/agrociencia/article/view/487>
- Rodríguez, J. (1993). La fertilización de los cultivos, un método racional. Colección en Agricultura. Pontificia Universidad Católica de Chile. Santiago, Chile. 291 p.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) (2001). Norma Oficial Mexicana NOM-059-ECOL2001, Protección ambiental—especies nativas de México de flora y fauna silvestres. Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio. Lista de especies en riesgo. Diario Oficial de la Federación 06 marzo, 2002. Available on: https://dof.gob.mx/nota_detalle_popup.php?codigo=5173091
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2010). Norma Oficial Mexicana NOM-059-ECOL-2001. Diario Oficial, 2da Sección. Protección ambiental - especies nativas de México de flora y fauna silvestres - Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio - Lista de especie en riesgo. Febrero de 2020. México, D.F. 85 p. Available on: https://dof.gob.mx/nota_detalle_popup.php?codigo=5173091
- Timmer, V. R. y Stone, E. L. (1978). Comparative foliar analysis of young balsam fir fertilized with nitrogen, phosphorus, potassium, and lime. *Soil Science Society of America Journal*, 42(1), 125-130. doi: 10.2136/sssaj1978.03615995004200010027x
- Ventura, R. A., López, U. J., Vargas, H. J. J., and Guerra, C. V. (2010). Characterization of populations of *Pseudotsuga menziesii* (MIRB.) Franco in central México. Implications for conservation. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 33(2), 107-116. doi: 10.35196/rfm.2010.2.107
- Zavala, Ch. F., and Méndez, T. M. (1996). Factores que afectan la producción de semillas de *Pseudotsuga macrolepis* Flous en el estado de Hidalgo, México. *Acta Botánica Mexicana*, 36(1), 1-13. doi: 10.21829/abm36.1996.756

CAPÍTULO III. FENOLOGÍA DE CONOS Y ATAQUE DE *Apolychrosis ferruginus* (Pogue) EN UN RODAL NATURAL DE *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco EN PUEBLA, MÉXICO

3.1. RESUMEN

Gran parte de las poblaciones de *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco en México se encuentran fragmentadas y han sido impactadas por diversos factores antropogénicos, así como por plagas. En el centro de México se desconoce el estado sanitario de los conos de la especie, así como su estado fenológico cuando ocurre el ataque de alguna plaga. El objetivo del presente trabajo fue describir el desarrollo fenológico del cono a lo largo de su ciclo de vida y evaluar el nivel de daño ocasionado en conos de *P. menziesii*. Se seleccionaron y marcaron cinco árboles de un rodal natural de *P. menziesii* en La Caldera, Ixtacamaxtitlán, Puebla. Se realizaron recolectas de follaje y conos a partir de mayo del 2019, hasta abril del 2020 para evaluar el estado fenológico de los órganos reproductivos, así como el porcentaje de conos dañados y el estadio de las plagas de conos femeninos, además de las dimensiones de los conos. Se realizó una prueba de Mann - Whitney para el número de larvas/pupas por exposición de la copa, así como para las dimensiones de los conos. Se detectó la presencia de la larva *Apolychrosis ferruginus* (Pogue), y se determinó que ésta presenta un ciclo de vida por año. El 100% de los conos recolectados presentan daños por la plaga. El ataque de la plaga ocurre durante los meses de marzo y abril, cuando el cono se encuentra en desarrollo temprano. Se identificó un mayor número de larvas/pupas en la exposición sur de la copa de los árboles de *P. menziesii*.

Palabras clave: producción de conos, larvas, pupas, estado fenológico, insectos, fenología reproductiva.

3.2. ABSTRACT

A large number of populations of *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco in Mexico are fragmented and have been impacted by various anthropogenic factors, as well as by pests. In central Mexico, the sanitary status of the cones of this species is unknown, as well as their phenological status when a pest attack occurs. The objective of this work was to describe the phenological development of *P. menziesii* cones throughout their life cycle and to evaluate the level of damage they show. Five trees were selected and marked from a natural stand of *P. menziesii* at La Caldera, Ixtacamaxtitlán, Puebla. Foliage and cone collections were made from may 2019 to april 2020 to evaluate the phenological status of the reproductive organs, the percentage of damaged cones, the developmental stage of seed cone pests, as well as cone dimensions. A T test was performed for the number of larvae / pupae per tree crown side (north/south), as well as for cone dimensions. The presence of the *Apolychrosis ferruginus* (Pogue) larvae was detected, and it was determined that it has a life cycle per year. 100% of the collected cones are damaged by the pest. The pest attack occurs during the months of march and april, when the cone is in early development. Larger numbers of larvae / pupae were identified in the south facing side of tree crowns.

Keywords: cone production, larvae, pupae, phenological stage, insects, reproductive phenology.

3.3. INTRODUCCIÓN

Pseudotsuga menziesii (Mirb.) Franco (*P. menziesii*), es una de las coníferas más importantes en el mundo debido a la superficie plantada en varios países y a su valor económico (Owston y Stein, 1974; Hermann y Lavender, 1999; Lavadinović *et al.*, 2013). Esta conífera tiene uno de los intervalos naturales de distribución más amplios entre todas las especies de árboles. En la costa del Pacífico se extiende desde los 55° de latitud norte, en Columbia Británica y Alberta en Canadá, hasta el norte de California en Estados Unidos de América; en las Montañas Rocallosas, desde la parte central de Columbia Británica, hasta el sur de Estados Unidos y los 19° N en México (Lavadinović *et al.*, 2018). En México, esta especie está sujeta a protección especial de acuerdo con la NOM-059-SEMARNAT-2010. La distribución natural en México abarca los estados de Chihuahua, Sonora, Coahuila, Durango y Zacatecas en la Sierra Madre Occidental, así como Nuevo León y Tamaulipas en la Sierra Madre Oriental (Acevedo, 1998). En la región central del país se encuentra distribuida en los estados de Hidalgo, Puebla, Tlaxcala y Veracruz (Domínguez, 1986). La distribución natural de *P. menziesii* en México es producto del cambio climático originado después de la última glaciación, que ocasionó que las coníferas se movieran del sur hacia el norte, y a mayores elevaciones en las sierras, lo que originó una distribución fragmentada y discontinua en manchones aislados y pequeños (Farjon, 1990; Juárez *et al.*, 2006)

En la Sierra Madre de Oaxaca, en el Sur de México, alcanza el límite austral de distribución a los 17° 01' 05" de latitud norte (Acevedo, 1998; Rzedowski, 2006). En algunos lugares de Serbia, se han establecido procedencias experimentales del abeto de Douglas a partir de las semillas introducidas desde Columbia Británica y Canadá (Lavadinović *et al.*, 2013). En el oeste de América del Norte, el abeto de Douglas es uno de los árboles de mayor valor ecológico y económico. En Europa, Nueva Zelanda, Australia y Chile, el abeto de Douglas es importante como especie exótica maderable de rápido crecimiento (Lavadinović *et al.*, 2018). En México, la importancia de la especie radica en su alto valor económico y su gran potencial para establecer plantaciones de árboles de navidad en diferentes estados. Comercialmente, ésta especie es uno de los árboles maderables más importantes y valiosos del mundo, históricamente fue utilizada por los occidentales para postes telefónicos y durmientes de ferrocarril, entre muchos otros usos (Lavadinović *et al.*, 2013; Wilson *et al.*, 2020). *P. menziesii* es considerado como la segunda conífera más alta del mundo, después de la *Sequoia gigantea* (Wilson *et al.*, 2020). Se ha

documentado que los árboles vivos tienen hasta 485 cm de diámetro, hasta 99.4 m de altura y volúmenes de hasta 349 m³ (Chen *et al.*, 2003; Freeman *et al.*, 2019). *P. Menziesii* es igualmente importante para la industria de la madera, la silvicultura, la arquitectura del paisaje, las industrias médicas y cosméticas, y el más popular es la producción comercial de árboles de navidad. Al ser productivo, comercialmente útil y popular, se considera una de las coníferas más valiosas (Lavadinović *et al.*, 2013; Freeman *et al.*, 2019). Debido a todos estos atributos positivos, *P. menziesii* constituye un tema permanente de muchas investigaciones y estudios.

Uno de los principales problemas a los que se enfrenta *P. menziesii* en México es que gran parte de sus poblaciones son pequeñas, fragmentadas y han sido impactadas por diversos factores antropogénicos, así como por plagas y enfermedades (Zavala y Méndez, 1996). Los insectos de conos que generalmente afectan la especie, limitan la producción de semilla viable en bosques naturales, lo que provoca una baja disponibilidad de germoplasma. Se ha reportado que los conos del abeto de Douglas son atacados por insectos como *Barbara colfaxiana* Kearfoth (Sweeny y Miller, 1989), *Contarinia oregonensis* Foot (Miller, 1986), *C. washigtoensis* Johns (Johnson y Hedlin, 1963), *C. pseudotsugae* Condrashoff (Pool y Gentili, 1996) y *Pityophthorus orarius* Bright (Wood, 1982). De acuerdo con Cibrián *et al.*, (1986) y Cibrián *et al.*, (1995), los insectos asociados a las estructuras reproductivas como flores, conillos, conos y semillas de esta especie son *Apolychrosis ferruginus* Pogue, *Barbara* sp., *Choristoneura* sp., *Contarinia* sp., *Dioryctria pinicolella* Amsel, *Megastigmus* sp. y trips.

Los estudios enfocados a esta especie en México han sido referentes a la descripción de las poblaciones existentes, ensayos y pruebas de progenie, así como su distribución a nivel nacional. En Europa y Serbia los estudios se han enfocado a conocer el porcentaje de supervivencia de plantas jóvenes, contenido de aceites esenciales en las acículas, variables dasométricas, análisis anatómico de madera y acículas, investigación fisiológica y observaciones fenológicas de apertura de yemas (Lavadinović *et al.*, 2010, Lavadinović *et al.*, 2011). Son pocos los trabajos que se han hecho para evaluar el nivel de daños en conos por plagas en el abeto de Douglas en México. Hasta el momento se desconoce el nivel de sanidad en conos de *P. menziesii* en La Caldera, municipio de Ixtacamaxtitlán, Puebla, lo que implica un riesgo para la supervivencia futura de la especie en la región, ya que cerca de la zona existen plagas que la afectan (Espinosa *et al.*, 2014). La identificación del momento justo en el que las plagas atacan los conos de *P. menziesii* puede ayudar

a implementar las acciones precisas de control, ya que la sincronía entre el desarrollo de las plagas y la fenología de los órganos del árbol es crucial para el éxito del ataque (Chen *et al.*, 2003). El presente trabajo contribuye a la identificación del estado sanitario en conos de *P. menziesii*, así como el estado fenológico de los conos cuando son atacados por la plaga. Por lo anterior, el objetivo general de este trabajo fue describir el desarrollo fenológico del cono a lo largo de su ciclo de vida.

3.4. MATERIALES Y MÉTODOS

3.4.1. Ubicación del área de estudio

El estudio se realizó en un rodal natural de *Pseudotsuga menziesii* ubicado en La Caldera, municipio de Ixtacamaxtitlán, Puebla, México, población situada en la parte norte del estado, entre las coordenadas: 19° 30' 13.1'' norte y 97° 51' 56'' oeste.

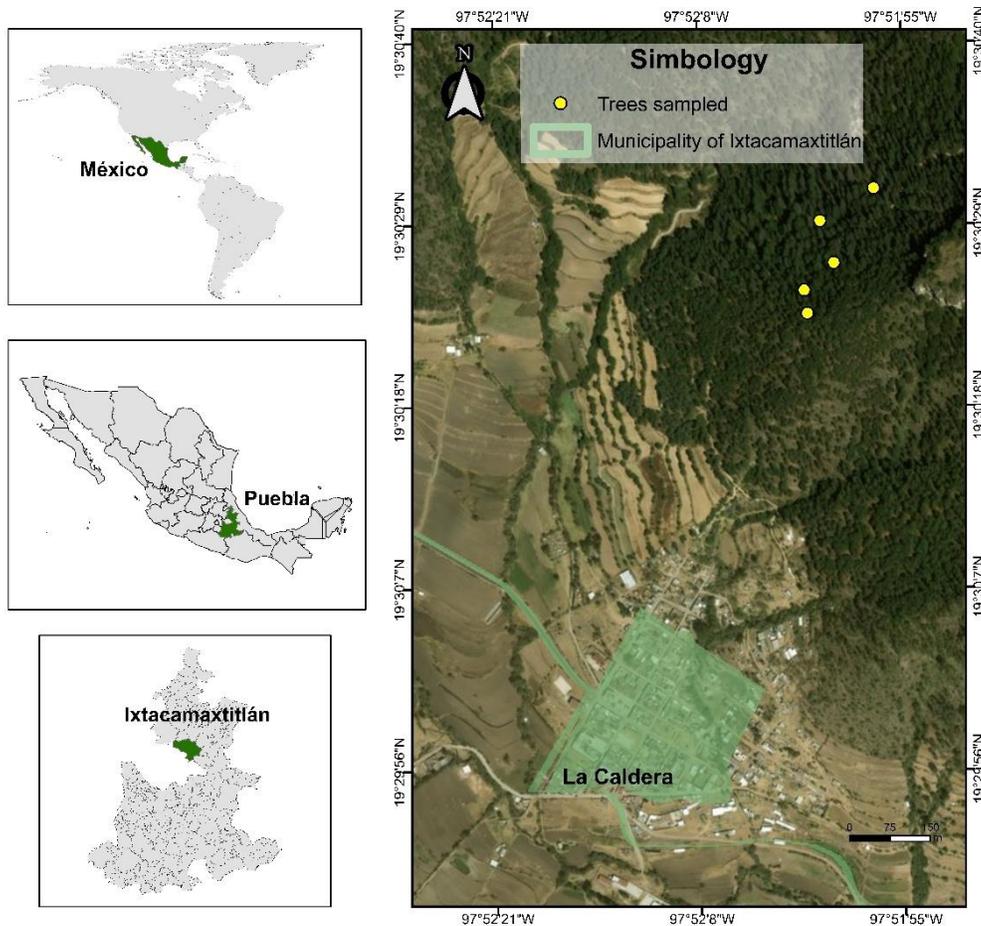


Figura 9. Ubicación del área de estudio de *Pseudotsuga menziessi* (Mirb.) Franco

El clima en el municipio es templado subhúmedo con lluvias en verano en 90% de su territorio y semifrío subhúmedo con lluvias en verano en el 10% restante. El rango de temperatura media anual es de 16 a 18 °C. La precipitación media anual es de 500 a 600 mm y los meses de lluvias son de mayo a septiembre (García, 2004).

3.4.2. Selección de las unidades de muestreo y obtención de los datos

Se realizó un recorrido por todo el rodal donde se seleccionaron y marcaron cinco árboles representativos de forma aleatoria en toda el área de estudio. Se marcó con pintura el diámetro a la altura del pecho (DAP) a 1.30 m de la superficie del suelo y se midió con una cinta diamétrica marca Jackson MS®. Se procuró que los árboles seleccionados tuvieran una buena forma y posición dominante de la copa, y con presencia de plaga. Cada árbol fue identificado y marcado con placas de aluminio. Se recolectaron mensualmente muestras de conos del tercio superior de la copa a través del escalado del árbol, con la finalidad de detectar la presencia de algún daño causado por plagas a partir del mes de febrero 2018 hasta abril del 2019. También se registró el estado fenológico en el que se encontró el cono de la especie, con la finalidad de describir el desarrollo fenológico de este órgano a lo largo de un año y detectar el momento preciso en el que ataca la plaga. Se tomó un total de cinco ramillas con producción de conos por exposición de la copa (norte y sur) para un total de 50 muestras por fecha de muestreo. Los conos recolectados durante la etapa de muestreo fueron etiquetados con el número de árbol y con su georreferenciación.

3.4.3. Variables evaluadas

Las variables evaluadas fueron: sanidad del cono (sano o plagado), proporción de conos dañados, así como el estadio de la plaga (larva, pupa, adulto) y el número de individuos (larvas, pupas o adultos) por cono y por orientación de la copa (norte o sur). También se evaluaron las dimensiones de los conos por exposición de la copa. El diámetro y la longitud del cono se midió en su sección media con un vernier digital marca Mitutoyo® modelo CD 67-S6. Los conos se disectaron y para el estado fenológico de cono femenino, se contabilizó el número de conos dañados por la plaga. Se colectaron conos adicionales para colocarlos en cámaras de cría para identificar la especie de plaga que ataca a *P. menziesii*, así como el registro del mes de emergencia del adulto.

3.4.5. Análisis de los datos

Se efectuó una prueba de Mann – Whitney en el programa InfoStat durante los meses muestreados, con un nivel de significancia de 0.05 y una precisión de 95%. El análisis se hizo para el número de larvas/pupas por cono y exposición de la copa.

3.5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el mes de enero de 2020 se observó la diferenciación de las yemas vegetativas terminales (Figura 10 a y b). No se registró daño de ningún tipo en las estructuras, aunque en conos del año anterior se encontraron plagas en estado pupal. Durante el mes de febrero de 2019, no se observaron daños ocasionados por plagas en los conos. En este mismo mes se observó la diferenciación de los estróbilos masculinos y femeninos (floración); el estróbilo masculino se observa en etapa de crecimiento y desarrollo inicial. Una vez que se forma la yema, aumenta de tamaño en sentido longitudinal, adopta una forma cilíndrica y el conillo presenta un color morado a rosa (Figura 10 c). En resumen, en este mes, el estróbilo femenino se encuentra en etapa de formación y desarrollo inicial, toma un color rosa claro y se encuentra en crecimiento y elongación (Figura 10 d).

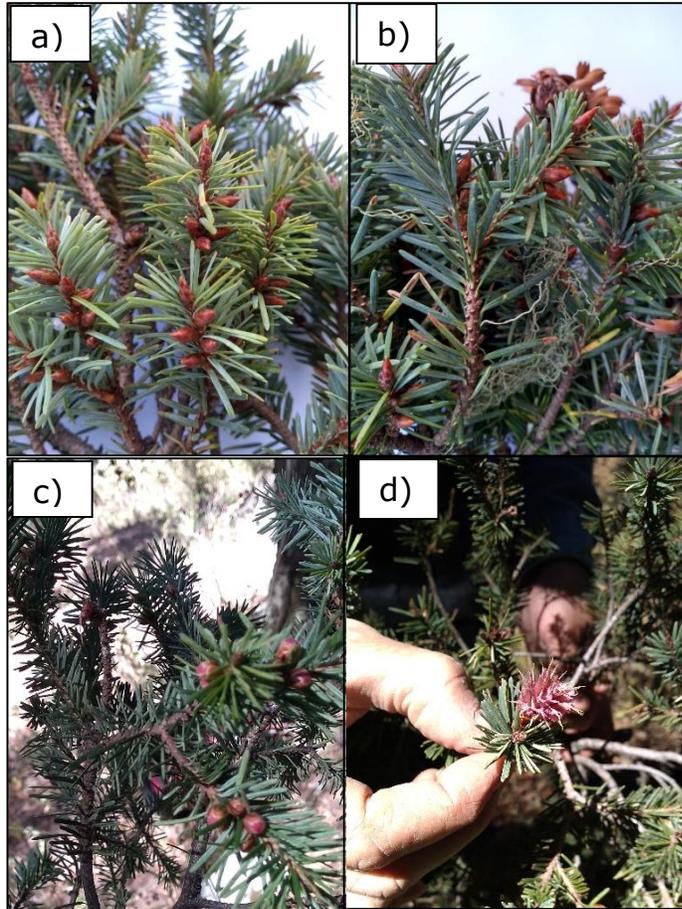


Figura 10. Diferenciación de las yemas vegetativas terminales en el mes de enero 2020 (a) y (b); estróbilos femeninos (c) y masculinos (d) de *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco durante las etapas de diferenciación y desarrollo inicial (febrero 2019).

Después de iniciada la formación del cono femenino en febrero (Figura 11 a), la larva de *A. ferruginus* produce daño en los meses de marzo y abril (Figura 11 b), perforando la superficie y penetrando al interior del cono (Figura 11 e). Una vez adentro se alimenta del almidón, lo que provoca una escasa maduración de semillas (Figura 11 f). En estos mismos meses (i.e. marzo y abril), emergieron insectos en estado adulto de los conos de las cámaras de cría (recolectados el año anterior). Se identificaron como *Apolycrosis ferruginus* (Pogue) (Figura 11 c, Figura 11 d).

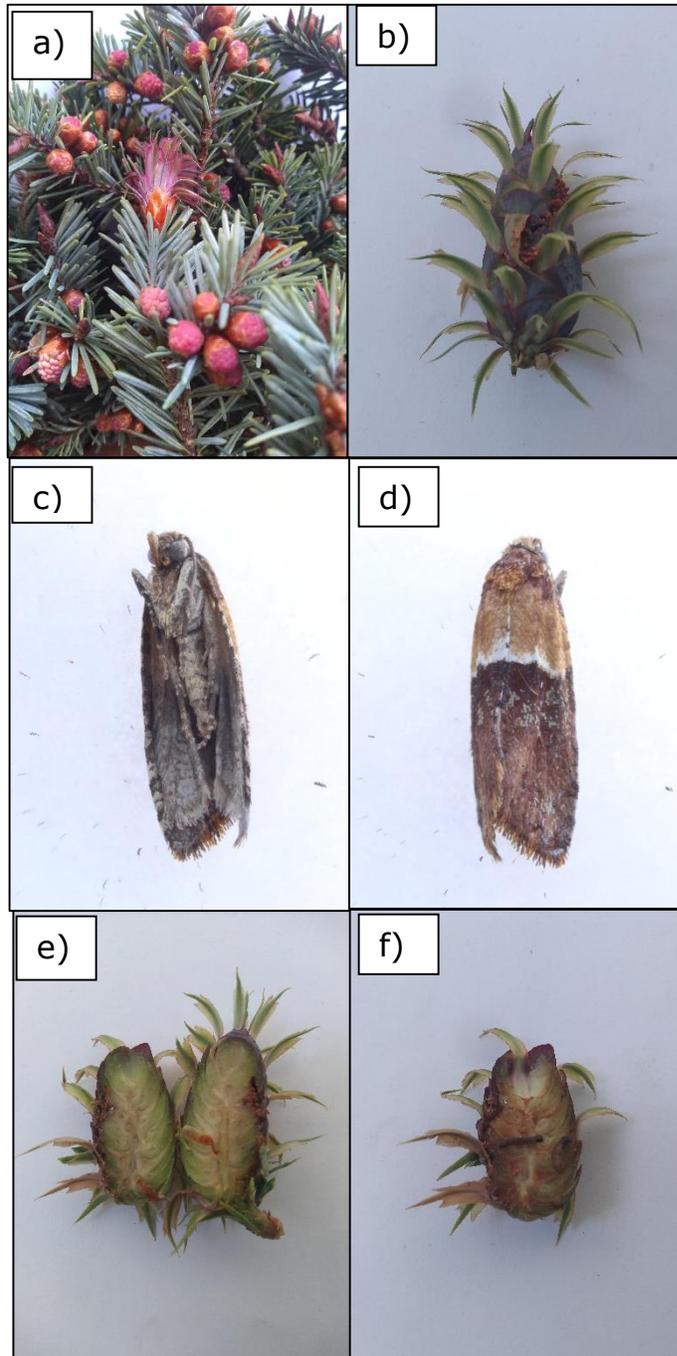


Figura 11. Estróbilos masculino y femenino de *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco en el mes de febrero 2019 (a). Cono dañado por plaga con presencia de resinación y excremento en el mes de marzo 2020 (b). Insecto adulto *Apolychrosis ferruginus* (Pogue) en marzo (c) y abril (d) 2020. Cono disectado con presencia de larva en el mes de marzo (e) y abril (f) 2020.

Los insectos adultos de *Apolychrosis ferruginus* ovopositan sobre la superficie de los conos y al emerger las larvas, se mueven sobre la superficie hasta encontrar un sitio de consistencia suave

para penetrar al interior del cono (Cibrián *et al.*, 1995). Cuando las larvas completan su desarrollo, ensanchan una cámara cuyo interior recubren de seda, en la que pasan al estado de pupa (Espinosa *et al.*, 2014). Cuando el adulto está listo para emerger, la pupa se apoya en las espinas del abdomen para desplazarse hacia la superficie del cono, hasta quedar parcialmente proyectada y expuesta al exterior y entonces emerge el adulto, quedando la exuvia casi en la superficie (Cibrián *et al.*, 1995).

En los meses de mayo y junio, el 100 % de los conos analizados presentaron daño por *A. ferruginus*. Los conos en estos meses se encuentran en etapa de maduración temprana (Figura 12 a). En la superficie del cono se observaron grumos de color café oscuro y excremento de larvas (Figura 12 b). Al disectarlos en laboratorio, se encontró presencia de larvas tanto en los provenientes de la exposición norte como los de la exposición sur de la copa (Figura 12 c; Figura 12 d). Se encontraron diferencias significativas en el número de larvas entre exposiciones de la copa en estos meses de observación.

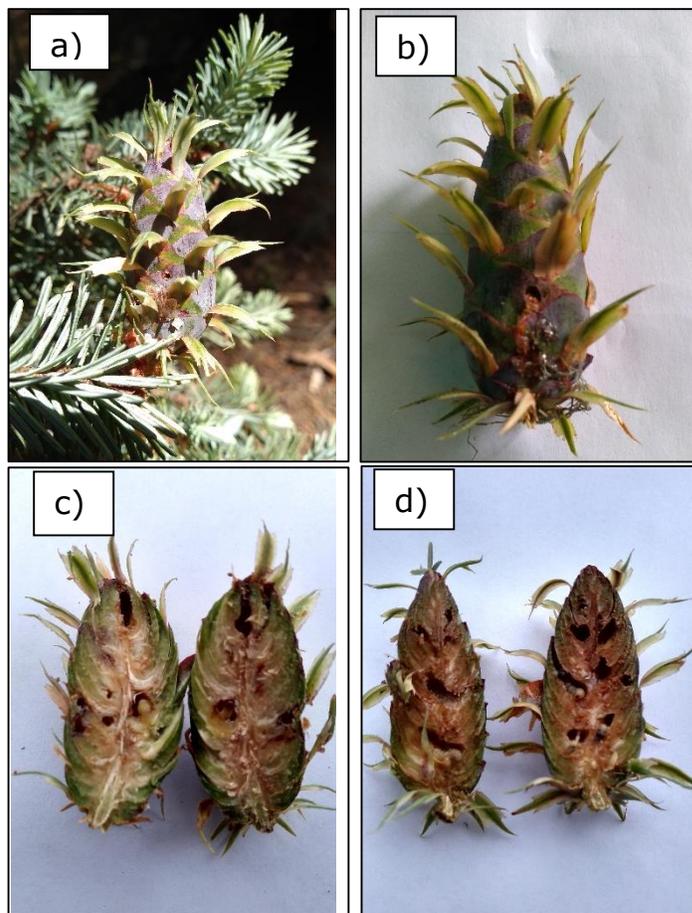


Figura 12. Cono dañado en el mes de mayo (a) y junio (b) 2019. Cono disectado con presencia de larvas en el mes de mayo (c) y junio (d) 2019.

En julio de 2019, y hasta enero 2020, todas las muestras recolectadas presentaron daño. Durante estos meses, el cono pasa de maduración temprana, a desarrollo y maduración completa. En octubre y noviembre el cono alcanza su maduración total y en este momento sucede la liberación de semillas. El cono maduro se reconoce cuando su cubierta es color café dorada y con una bráctea del mismo color en cada escama (Figura 13 f). La maduración y apertura del cono se debe al secado, no al crecimiento (Owens, 1973). Todos los conos recolectados presentaron evidencias de resinación en su parte externa (Figuras 13 b, Figura 13 c), lo que indica daño por *A. ferruginus*. Al disectar las muestras se observaron daños en forma de galería y depredación de semilla (Figura 13 d; Figura f). Durante estos meses la plaga permaneció en estado pupal (Figura 13 a).

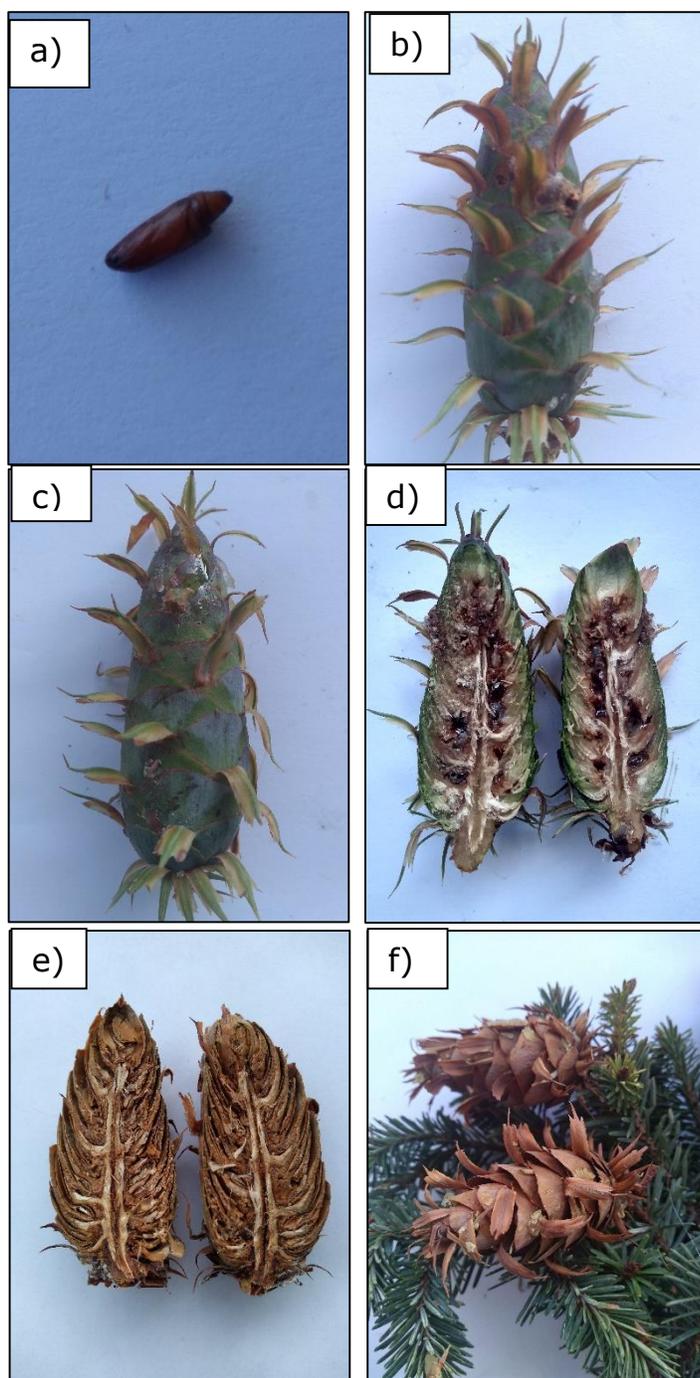


Figura 13. Pupa en el mes de julio (a) 2019, conos dañados por *Apolychrosis ferruginus* (Pogue) en el mes de agosto (b) 2019 y septiembre (c) 2019. Conos disectados y con daño por *A. ferruginus* en octubre (d) 2019 y noviembre (e) 2019. Cono del mes de noviembre en maduración completa (f) 2019.

En este trabajo, se observó que transcurren ocho meses desde el inicio de la formación del cono, hasta su maduración lo cual difiere a lo encontrado por Owens (1973) en poblaciones de *P.*

menziesii en las partes más bajas de la costa de la Columbia Británica y el noroeste del Pacífico, quien señala que para que el cono alcance su maduración, transcurren 17 meses. Una posible respuesta de lo que ocurre con los conos de *P. menziesii* en la población estudiada, es que el elevado ataque de *A. ferruginus* puede ser debido a un efecto de adaptación local a condiciones de la zona, o a procesos relacionados a la temporalidad de temperaturas bajas y altas. La regeneración en la zona de estudio es casi nula, por lo que, si no se implementan estrategias de manejo, la desaparición de *P. menziessii* será inevitable. Otro factor que también puede sumarse a la escasa regeneración de la especie, es la pérdida de semillas en los conos por aborto, ya que es común que suceda en esta especie durante las pocas semanas durante y después de la polinización (Owens, 1973). La colecta de conos para conseguir semilla para los viveros es otra desventaja para su regeneración natural. La escasa producción de polen puede jugar un papel importante en *P. menziessi*, sin embargo, se tendría que hacer un estudio detallado para verificar si éste puede ser un motivo para el bajo reclutamiento de nuevos individuos.

Se observó también, que la dispersión de semillas ocurre en los meses de octubre y noviembre, aunque en algunos árboles se puede extender hasta diciembre y enero del siguiente año. Algo similar encontró Owens (1973), quien comenta que aproximadamente de 70 a 90% de las semillas de abeto de Douglas se dispersan durante septiembre y octubre.

Durante el periodo de muestreo se obtuvo el promedio de larvas/pupas por cono y por exposición de la copa. Los resultados muestran en promedio, que el número de lavas y pupas es mayor en la copa de la exposición sur que en la norte (Cuadro 11).

Cuadro 11. Total de larvas/pupas en exposición norte y sur de la copa de los árboles de *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco durante el periodo de muestreo.

Árbol	Dn (cm)	% conos dañados	TLPEN	TLPES
1	60.6	100	92	132
2	50.9	100	82	130
3	53.4	100	93	132
4	74.6	100	86	129
5	50.1	100	91	132

Dn = diámetro normal a 1.30 metros del suelo en cm; TLPEN = total de larvas / pupas en la exposición norte; TLPES = total de larvas/pupas en la exposición sur de la copa de los árboles.

La Figura 14 muestra que durante todos los meses muestreados, la cantidad de larvas / pupas de *A. ferruginus* fue mayor en la exposición sur que en exposición norte.

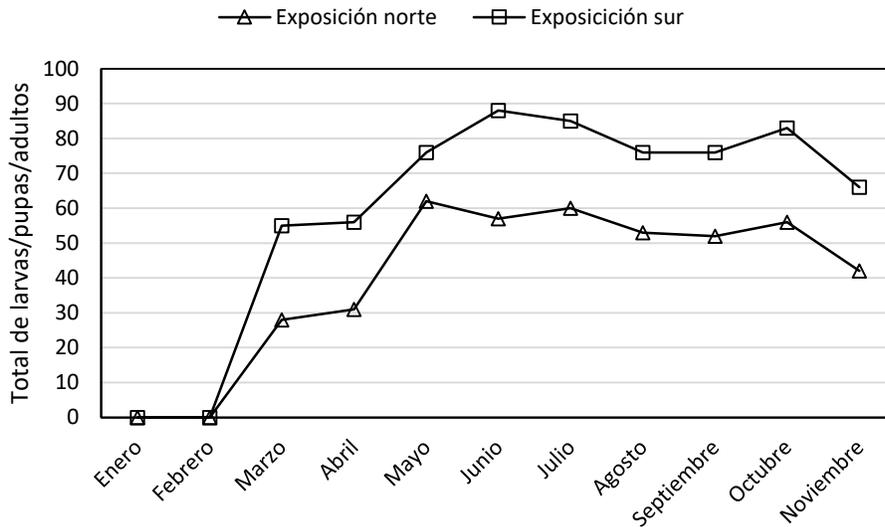


Figura 14. Total de larvas/pupas durante los meses muestreados en conos de *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco en las exposiciones norte y sur de la copa de los árboles.

El porcentaje de conos dañados es elevado y contrasta con los resultados de Zavala y Méndez (1996), quienes mencionan que de 81 conos estudiados de *Pseudotsuga macrolepis* Flous en la porción occidental de la sierra del estado de Hidalgo, 45.7 % fueron dañados por insectos, desde el 10 % de su superficie hasta su totalidad; los mismos autores indican que las lesiones observadas fueron causadas por *Contarinia* sp. (Diptera, *Cecidomyiidae*), *Megastigmus* sp. (Hymenoptera, *Torymidae*) y *trips* sp. (Thysanoptera, *Phlaeothripidae*). En este trabajo, el daño solo es ocasionado por *Apolychrosis ferruginus*. En poblaciones de esta especie ubicadas en Coahuila y Tlaxcala se reportaron infestaciones severas de *Barbara* sp., las cuales destruyeron más de 90 % de los conos de *Pseudotsuga* sp. y se considera que tuvieron un impacto negativo en la regeneración natural (Cibrián *et al.*, 1986). En 2014 se reportaron daños de 46 % de 712 conos analizados en *P. menziesii* (Mirb.) Franco en el municipio de Ixtacamaxtitlán, Puebla; las plagas que causaron daño fueron *Apolychrosis ferruginus* y *Dyorictria pinicolella* (Espinosa *et al.*, 2014).

Los daños encontrados en conos de *P. menziessi* en este trabajo, son similares con el nivel de daño reportado por otros autores (Zavala y Méndez 1996; Espinosa *et al.*, 2014). Es necesario implementar estrategias de manejo para el control de la plaga, toda vez que en el área de estudio se observó que la regeneración de *P. menziessi* es casi nula, por lo que la población se encuentra en peligro de desaparecer de la zona. El manejo óptimo de la plaga podría realizarse entre los meses de febrero y marzo, cuando la plaga ataca al cono y se desarrollan las larvas. La aplicación de insecticidas sistémicos a manera de inyecciones al fuste o en el suelo constituye un adecuado manejo y permite la eliminación de éste y otros insectos, por lo que puede ser una opción para el manejo de la plaga (Cibrián *et al.*, 1986; Espinosa *et al.*, 2014). Otra opción para el control de *A. ferruginus* es el mejoramiento del estado nutrimental de los árboles, a través de la aplicación de los nutrimentos deficientes en el follaje del árbol. Estudios recientes demuestran que este método resulta favorable cuando se corrigen de forma efectiva las deficiencias nutrimentales en el arbolado (López y Estañol, 2007; Pérez *et al.*, 2013).

El elevado nivel de daño a los conos de esta especie puede deberse a que las poblaciones de *P. menziessi* del centro de México tienen poca variabilidad genética debido a los efectos de depresión endogámica (Ventura *et al.*, 2010). El aislamiento geográfico y el tamaño reducido de las poblaciones reducen su variabilidad genética, aumentan la endogamia y reducen su éxito de establecimiento (Mosseler *et al.*, 2000). Los pronósticos del cambio climático muestran que los rodales de esta especie ubicados en el extremo sur están en riesgo de perderse (Melillo, 1999; Iverson y Prasad, 2002).

Los resultados de la prueba de Mann - Whitney mostraron que existen diferencias significativas en el número de larvas/pupas por cono entre exposiciones de la copa en todo el periodo de estudio, excepto los meses de marzo y abril 2020. Esto se debe a que las poblaciones de insectos dentro de los conos son muy pequeñas. Cuando el cono entra en etapa de mayor maduración, se pueden observar las diferencias en el número de larvas/pupas por exposición de copa. En la exposición norte se desarrollan dos larvas/pupas por cono, y en la exposición sur tres larvas/pupas por cono (Cuadro 12).

Cuadro 12. Pruebas de Mann - Whitney para la comparación del número de larvas/pupas/adultos en conos entre exposiciones de la copa de *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco durante el periodo de muestreo.

Mes/Año	Estadio	n	MEN	MES	DEN	DES	W	p-valor
Enero 2020	-	-	-	-	-	-	-	-
Febrero 2019	-	-	-	-	-	-	-	-
Marzo 2020	Adultos	50	1.12	2.2	0.33	0.41	355	<0.0001
Abril 2020	Adultos	50	1.24	2.24	0.44	0.44	382	<0.0001
Mayo 2019	Larvas	50	2.48	3.04	0.51	0.84	521	0.0146
Junio 2019	Larvas	50	2.28	3.52	0.61	0.87	411	<0.0001
Julio 2019	Pupas	50	2.4	3.4	0.5	0.76	425	<0.0001
Agosto 2019	Pupas	50	2.12	3.04	0.6	0.79	448	<0.0001
Septiembre 2019	Pupas	50	2.08	3.04	0.76	0.54	429	<0.0001
Octubre 2019	Pupas	50	2.24	3.32	0.44	0.48	376	<0.0001
Noviembre 2019	Pupas	50	1.68	2.64	0.56	0.49	409.5	<0.0001

- = no hubo muestras; n = tamaño de muestra; MEN = media en la exposición norte de la copa; MES = media en la exposición sur de la copa; DEN = desviación estándar en la exposición norte de la copa; DES = desviación estándar en la exposición sur de la copa; W = suma de los rangos en la muestra de menor tamaño; p-valor = nivel de significancia de la prueba.

En estudios relacionados con esta plaga, se tiene registro de la existencia de dos generaciones por año (Cibrián *et al.*, 1985; Cibrián *et al.*, 1986). La emergencia de adultos se ha observado de enero a marzo; las larvas están presentes de marzo a junio, las pupas de junio a agosto y los adultos de junio a septiembre; ovopositan y al poco tiempo aparecen las larvas que permanecen como tales hasta noviembre; las pupas están en celdas dentro de las escamas durante los meses de octubre a diciembre, y los nuevos adultos emergen a inicios del año siguiente (Cibrián *et al.*, 1985; Cibrián *et al.*, 1986). Los anteriores resultados difieren de los encontrados en el presente estudio, donde se encontró que la generación de *A. ferruginus* es anual. Las larvas están presentes mayo y junio, el estado pupal se encuentra desde el mes de julio hasta el mes de febrero del siguiente año. La emergencia de adultos ocurre marzo y abril.

Los resultados de la prueba de t para las dimensiones de los conos femeninos mostraron que existen diferencias significativas tanto en longitud, como en diámetro, en ocho de los 11 meses muestreados. En promedio, en la exposición sur se tienen las mayores dimensiones de conos femeninos (Cuadro 13).

Cuadro 13. Prueba de t para comparar la longitud (L) y diámetro (D) de los conos femeninos entre exposiciones de la copa de *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco en el periodo de muestreo.

Mes	n	MEN	MES	LI (95)	LS (95)	V(EN)	V(ES)	p-valor
Enero L 2020	-	-	-	-	-	-	-	-
Enero D 2020	-	-	-	-	-	-	-	-
Febrero L 2019	-	-	-	-	-	-	-	-
Febrero D 2019	-	-	-	-	-	-	-	-
Marzo L 2020	50	2.88	4.55	-3.08	-0.26	6.83	5.43	0.0213
Marzo D 2020	50	0.79	1.44	-1.07	-0.23	0.52	0.58	0.0033
Abril L 2020	50	1.66	1.84	-1.67	1.31	6.14	7.54	0.8088
Abril D 2020	50	0.46	0.62	-0.62	0.31	0.48	0.85	0.5146
Mayo L 2019	50	2.37	2.70	-0.63	-0.03	0.34	0.21	0.0301
Mayo D 2019	50	0.84	1.13	-0.49	-0.07	0.12	0.15	0.0091
Junio L 2019	50	3.37	3.70	-0.63	-0.03	0.34	0.21	0.0301
Junio D 2019	50	0.94	1.23	-0.49	-0.07	0.12	0.15	0.0091
Julio L 2019	50	3.81	4.20	-0.65	-0.13	0.21	0.21	0.0037
Julio D 2019	50	1.04	1.33	-0.49	-0.07	0.12	0.15	0.0091
Agosto L 2019	50	4.98	5.38	-0.63	-0.15	0.17	0.17	0.0017
Agosto D 2019	50	1.22	1.50	-0.47	-0.10	0.10	0.12	0.0039
Septiembre L 2019	50	5.27	5.63	-0.60	-0.12	0.17	0.19	0.0043
Septiembre D 2019	50	1.46	1.70	-0.42	-0.05	0.08	0.12	0.0128
Octubre L 2019	50	5.12	5.71	-0.74	-0.44	0.08	0.06	<0.0001
Octubre D 2019	50	1.51	1.99	-0.60	-0.36	0.04	0.04	<0.0001
Noviembre L 2019	50	5.22	5.75	-0.66	-0.40	0.06	0.05	<0.0001
Noviembre D 2019	50	1.57	2.05	-0.59	-0.37	0.03	0.05	<0.0001

= no hubo muestras; n = tamaño de muestra; MEN = media en la exposición norte de la copa; MES = media en la exposición sur de la copa; LI = límite inferior al 95%; LS = límite superior al 95%; V(EN) = Varianza en la exposición norte; V(ES) = varianza en la exposición sur; p-valor = nivel de significancia de la prueba.

3.6. CONCLUSIONES

Apolychrosis ferruginus presenta un ciclo de vida por año. El ataque a los conos ocurre en los meses de marzo y abril. En etapas iniciales de floración no existen evidencias de ataque. En enero se observó la diferenciación de estróbilos masculinos y femeninos y su desarrollo inicial. En este mismo mes se encontraron pupas en conos del año anterior. En febrero los estróbilos continuaron con su diferenciación y elongación. En marzo y abril los conos se encuentran en etapa de desarrollo inicial, y se encontraron daños superficiales en conos, con presencia de perforaciones en forma de círculo, excremento y resinación. En el interior de los conos se observaron galerías y daños por depredación de tejido. La plaga se encuentra en estado larval en este mes. También, se identificó la emergencia de insectos en estado adulto en conos del año anterior (*Apolychrosis ferruginus*). En mayo y junio, los conos se encuentran en etapa de maduración temprana. Los conos presentan daño externo con perforaciones, resinación y excremento, y en el interior se observan galerías, resinación y depredación del tejido del cono. En junio, el insecto se encuentra en estado larval, en fase de crecimiento y desarrollo. En julio, agosto y septiembre, los conos se encuentran en fase de maduración, éstos presentan daños externos con resinación, perforaciones y excremento de la plaga; en el interior hay galerías, resinación y depredación. En estos meses, la plaga se encuentra en estado pupal. En octubre, noviembre y diciembre los conos se encuentran en fase de maduración completa. En estos meses ocurre la liberación y dispersión de las semillas, se presentan daños externos por resinación y perforación en la parte externa de los conos. En el interior se observan galerías, resinación y depredación. La plaga se encuentra en fase pupal.

El 100 % de los conos recolectados en el rodal estudiado durante el periodo de muestreo presentó daños por la plaga. En la exposición norte de la copa se desarrolla menor número de larvas/pupas por cono que en la orientación sur.

Es necesario implementar estrategias de manejo para el control de esta plaga, ya que ésta limita la producción de semilla viable del rodal natural, lo que provoca una baja disponibilidad de germoplasma, y por consecuencia pone en riesgo la permanencia futura de la especie. Se sugiere

implementar estrategias para el manejo de plaga en los meses de marzo hasta junio, cuando ocurre el ataque y se desarrollan las larvas.

3.7. LITERATURA CITADA

Acebedo, R. (1998). Estudio sinecológico del bosque de *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco var. Oaxacana Debreczy & Racz, en la zona de Santa Catarina Ixtepeji, Oaxaca, México. Tesis. Maestría. División de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma Chapingo, Estado de México. 105 pp.

Benavides, M. H. M., Gazca, G. M. O., López, L. S. F., Camacho, M. F., Fernández, G. D. Y, de la Garza, L. de L. M. del P., y Nepamuceno, M. F. (2011). Variabilidad en el crecimiento de plántulas de ocho procedencias de *Abies religiosa* (H.B.K.) Schlecht. et Cham., en condiciones de vivero. *Madera y bosques*, 17(3), 83-102. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-04712011000300006&lng=es&tlng=es.

Chen, Z., Clancy, K. M., and Kolb, T. E. (2003). Variation in Budburst Phenology of Douglas-fir Related to Western Spruce Budworm (Lepidoptera: *Tortricidae*) Fitness. *Journal of Economic Entomology*, 96(2) 377-387. doi:10.1603/0022-0493-96.2.377

Cibrián, T. D., Ebel, B. H., y Méndez M. J. (1986). Insectos de conos y semillas de las coníferas de México. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, Edo. de Méx., México/ USDA Forest Service. Asheville, NC. USA. 110 p.

Cibrián, T. D., Méndez M. J., Campos B. R., Yates O. H., y Flores L. J. (1995). Insectos forestales de México/Forest insects of México Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, Edo. de Méx., México/ USDA Forest Service. Asheville, NC. USA. 453 p.

Domínguez, A. F. A. (1986). Estudio ecológico de *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco, en la región de Huayacocotla, Ver. Tesis. Maestría. División de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma Chapingo, Estado de México. 266 p.

Espinosa, F. N., Arriola, P. V. J., Guerra, de la C. V., Cibrián, Ll. V., y Galindo, F. G. (2014). Control de plagas en conos y semillas de *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco mediante insecticidas sistémicos. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 5(23). 30-41. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-11322014000300004&lng=es&tlng=es.

Fowells, A. (1965). Silvics of forest trees of the United States. USDA, Forest Service Agriculture Handbook No. 271. 546-556.

Herman, R. H., y Lavender, D. P. (1999). Douglas fir planted forests. *New Forest* 17(2). 53-70. doi: 10.1023/A:1006581028080

- Freeman, M. B., Labarge, A., and Tobin, P. C. (2019). Phenology of Douglas-Fir Beetle (Coleoptera: *Curculionidae*) and Its Role in Douglas-Fir Mortality in Western Washington. *Environmental Entomology*, 49(1). 246-254. doi:10.1093/ee/nvz146
- García, E. (2004). Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen, Serie Libros, núm. 6, Instituto de Geografía, UNAM, México.
- Jhonson, N. E., and Hedlin, A. F. (1963). Life history and habits of a Midge *Contarinia washingtonensis* Jhons (Diptera: *Cecidiomidae*) in Douglas-fir cones. Forest Entomology and Pathology Branch, No. 974. Department of Forestry, Ottawa, Canada and Weyerhouser Company, Forest Research Center, Centralia. Washington, DC. USA. 86 p.
- Iverson, L. R., and Prasad, A. M. (2002). Potential redistribution of tree species habitat under five climate change scenarios in the eastern U.S. *Forest Ecology and Management*, 155(1). 205-222. doi: 10.1016/S0378-1127(01)00559-X
- Juárez, A. A., López, L. U., Vargas, H. J. J., y Sáenz, R. C. (2006). Variación geográfica en la germinación y crecimiento inicial de plántulas de *Pseudotsuga menziesii* de México. *Agrociencia*, 40(6). 783-792. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=30240610>
- Lavadinović, V., Lavadinovic, V., Rakonjac, L., Poduška, Z., and Dordević, Ilija. (2018). Correlation between the phenology of leafing and growth characteristics of Douglas-fir provenances in Serbia. *Forestist*, 68(1). 16-21. doi: 10.5152/forestist.2018.003
- Lavadinović, V., Isajev, V., Rakonjac, L., Popović, V., and Lučić, A. (2013). Douglas-fir provenance phenology observations. *Ekologia*, 32 (2), 376-382. doi:10.2478/eko-2013-0035
- Mosseler, A., Major, J. E., Simpson, J. D., Daigle, B., Lange, K., Park, Y. S., Johnsen, K. H., and Rajora, O. P. (2000). Indicators of population viability in red spruce, *Picea rubens*. I. Reproductive traits and fecundity. *Canadian Journal of Botany*, 78(7). 928-940. doi:10.1139/b00-065
- López, L. M. A., y Estañol, E. B. (2007). Detección de deficiencias de hierro en *Pinus leiophylla* a partir de los efectos de dilución y concentración nutrimental. *Terra Latinoamericana*. 25(1). 9-15. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57311513002>
- Melillo, J. M. (1999). Warm, warm on the range. *Science*, 283(1), 183 - 184. doi: 10.1126/SCIENCE.283.5399.183
- Miller, G. E. (1986). Damage prediction for *Contarinia oregonensis* Foote (Diptera: *Cecidomyiidae*) in Douglas-fir seed orchards. *The Canadian Entomologist*, 118(12), 1297-1306. doi: doi.org/10.4039/Ent1181297-12
- Owston, P. W., Y Stein, W. I. (1974). *Pseudotsuga menziesii* Carr. Douglas-Fir. In: C. S. Schommeyer (ed.) Seeds of the woody plants in United States. *Agricultural Handbook* 450. USDA, Forest Service, Washington, D. C., pp. 674-683.

- Pérez, C. M., López, L. M. A., Equihua, M. A., Cetina, V. M. A., Méndez, J. T. M., (2013). Relationships between site factors and bark beetle attack on pine trees. *Journal of Biological Sciences*, 13(1), 621-627. doi: 10.3923/jbs.2013.621.627
- Poole R. W., and P. Gentili. (1996). *Nomina insecta nearctica: a checklist of the insects of North America*. Vol. 3. *Entomological Information Services*. Rockville, MD. USA.
- Rzedowski, J. (2006). *Vegetación de México*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, 1ª. Edición digital México, D.F. México. 504 p.
- Sparks, T. y A. Menzel. (2002). Observed changes in seasons: an overview. *International Journey of Climatology*, 22(14). 1715-1725. doi: 10.1002/joc.821
- Sweeny, J. D., and Miller, G. E. (1989). Distribution of *Barbara colfaxiana* Kearfortt (Lepidoptera: Tortricidae) eggs with and among egg densities. *The Canadian Entomologist*, 121(7): 569-578. doi: 10.4039/Ent121569-7
- Ventura, R. A., López, U. J., Vargas, H. J. J., y Guerra, de la C. V. (2010). Caracterización de *Pseudotsuga menziesii* (MIRB.) Franco en el centro de México: Implicaciones para su conservación. *Revista fitotecnica mexicana*, 33(2). 107-116. doi: 10.35196/rfm.2010.2.107
- Wilson, Edward & San Martin, Gilles & Ligot, Gauthier. (2020). The Douglas fir needle midge (*Contarinia pseudotsugae*): a potential threat to Douglas fir in the United Kingdom and Ireland? *Quarterly Journal of Forestry*. 114(4). 244-250. <http://hdl.handle.net/2268/250137>.
- Wood, S. L. (1982). *The bark and ambrosia beetles of North and Central America (Coleoptera: Scolytidae)*. A taxonomic Monograph. Great Basin Nrr. Memoirs. 6. Brigham Young University. Provo, UT. USA. 1659 p.
- Zavala, Ch. F., y Méndez, M. T. (1996). Factores que afectan la producción de semillas de *Pseudotsuga macrolepis* Flous en el estado de Hidalgo, México. *Acta Botánica Mexicana*, 36(1), 1-13. doi: 10.21829/abm36.1996.756

CONCLUSIONES GENERALES

La aplicación de nutrimentos deficientes al arbolado plagado mediante la fertilización al suelo, resultó efectiva para mitigar la incidencia de *Apolychrosis ferruginus* en conos de *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco. La aplicación de nutrimentos no deficientes en árboles plagados no resultó efectiva para disminuir la incidencia de *Apolychrosis ferruginus* en los conos, en comparación con el tratamiento testigo. Los tratamientos que mejoraron las deficiencias nutrimentales de los árboles plagados, fueron los que mejoraron el incremento en diámetro; además, estos tratamientos aumentaron la biomasa de las acículas y las dimensiones de los conos en las exposiciones norte y sur de la copa de los árboles.

La aplicación de nutrimentos deficientes a los árboles afectados, mediante la inyección de soluciones nutritivas en el xilema, fue tan eficaz como la inyección de monocrotofos® para mitigar la incidencia de *Apolychrosis ferruginus* en conos de *Pseudotsuga menziesii*. La inyección de nutrimentos no deficientes a los árboles fue tan ineficaz como la falta de fertilización y la falta de aplicación de insecticida (árboles de control), para disminuir la incidencia de *A. ferruginus*. La inyección de nutrimentos deficientes a los árboles es el único tratamiento que mejoró de forma significativa el diámetro del árbol, aunque monocrotofos® también mejoró la biomasa de las acículas. La inyección de nutrimentos no deficientes a los árboles disminuyó la biomasa de las acículas, pero aumentó la longitud del cono, al igual que la aplicación de nutrimentos deficientes, y aumentó el diámetro del cono al igual que la aplicación de monocrotofos®.

La aplicación de nutrimentos deficientes vía inyección al xilema en árboles de *Pseudotsuga menziesii* plagados, es recomendable para mitigar la incidencia de *Apolychrosis ferruginus* en conos. Este método resulta eficaz y tiene la ventaja de presentar resultados positivos (mitigación) en un menor tiempo comparado con la fertilización al suelo.

Apolychrosis ferruginus presentó un ciclo de vida por año. El ataque ocurre en los meses de marzo y abril. En etapas iniciales de floración no existen evidencias de ataque. Éste trabajo logró contribuir a la identificación del estado sanitario en conos de *P. menziesii*, así como el estado fenológico de los conos cuando son atacados por *A. ferruginus*. Por lo tanto, los dos métodos de control probados son recomendados para mitigar la incidencia de la plaga en conos.

La aplicación de nutrimentos deficientes en árboles de *P. menziesii* plagados, es recomendable para mitigar la incidencia de *A. ferruginus* en conos. Este método resulta eficaz y mejora el estado nutrimental del árbol.