



**COLEGIO DE POSTGRADUADOS**  
INSTITUCION DE ENSEÑANZA E INVESTIGACION EN CIENCIAS AGRICOLAS

**CAMPUS MONTECILLO**

**POSTGRADO FORESTAL**

**CARACTERIZACIÓN Y CONSERVACIÓN DE**  
*Pseudotsuga menziesii* (MIRB.) FRANCO  
**EN LA ZONA CENTRO DE MÉXICO**

**ARACELI VENTURA RÍOS**

**T E S I S**

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL

PARA OBTENER EL GRADO DE:

**MAESTRA EN CIENCIAS**

MONTECILLO, TEXCOCO, ESTADO DE MÉXICO

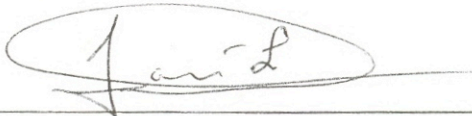

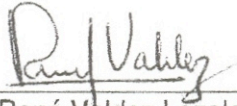
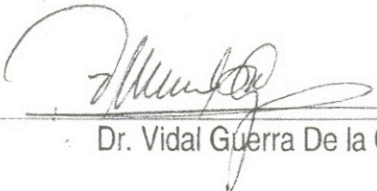
2009

La tesis titulada: **Conservación y caracterización de *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco en la zona centro de México**, realizada por la alumna: Araceli Ventura Ríos bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

## MAESTRA EN CIENCIAS

### FORESTAL

#### CONSEJO PARTICULAR

Consejero	 _____
	Dr. Javier López Upton
Asesor	 _____
	Dr. Jesús Vargas Hernández
Asesor	 _____
	Dr. J. René Valdez Lázalde
Asesor	 _____
	Dr. Vidal Guerra De la Cruz

Montecillo, Texcoco, Estado de México, Julio de 2009

## CONSERVACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE *Pseudotsuga menziesii* (MIRB.) FRANCO EN LA ZONA CENTRO DE MÉXICO

Araceli Ventura Ríos, M.C.  
Colegio de Postgraduados, 2009

Se ubicaron 29 poblaciones naturales de *Pseudotsuga menziesii* en Hidalgo, Tlaxcala y Puebla, con un estimado de 9,029 árboles adultos, en 682 ha que se ubican desde 2,450 a 3,400 m s.n.m. Las localidades son de clima templado, con temperatura media anual de 10.1 a 14.0 °C y precipitación de 611 a 1,109 mm anuales. *Pseudotsuga* convive con *Abies religiosa* y varias especies de *Pinus* y *Quercus*, en exposiciones N, NO y NE. Los suelos son de pH ligeramente ácidos, ricos en materia orgánica y clase textural franco-arenosa o franca. El tamaño poblacional varía de 4 a 1,450 árboles maduros; 11 de éstas menos de 100 individuos adultos, con poca repoblación natural en todas ellas. Existe gran fragmentación en su distribución natural. Con base en un análisis de agrupamiento se detecta similitud entre las poblaciones de Hidalgo (Zona I) y entre las poblaciones de Tlaxcala y Puebla (Zona II); cada zona tiene seis grupos de poblaciones. Para estimar el grado de riesgo de desaparición de la especie, se recopiló información en campo y de encuestas a propietarios. Se propusieron tres criterios que inciden en el riesgo: antropogénico (el de mayor peso), genético y ecológico, con seis, cuatro y cuatro sub-criterios, respectivamente. Se usó el Proceso de Análisis Jerarquizado (PAJ) para ordenar y ponderar la importancia de los criterios y subcriterios. Existen niveles de muy bajo a muy alto riesgo. Cuatro poblaciones presentan riesgo muy bajo, riesgo bajo (ocho) y riesgo medio (seis), con distancia promedio a vías de comunicación y a poblados de 3.0 km, y los poseedores se dedican en su mayoría al turismo. Las poblaciones que presentan un riesgo de alto a muy alto, seis y cinco (Vicente Guerrero, Morán, Minatitlán, La Garita y Tonalapa), respectivamente, se encuentran fuertemente influenciadas por factores antropogénicos (distancia promedio a vías de comunicación de 1.4 Km y a poblados de 2.2 km, la actividad económica principal es la agricultura), ecológicos (existen especies exóticas, repoblación natural nula o escasa) y genéticos (número promedio de árboles en edad reproductiva menor de 40, con aislamiento geográfico y la edad de los árboles es madura a sobremadura). Se recomienda realizar actividades de conservación in situ, priorizando en las poblaciones que presentan mayor riesgo, además de considerar la recolección de germoplasma y medidas de migración asistida con repoblación artificial e intercambiar material genético dentro de grupos y ocasionalmente entre estos para restablecer el flujo génico y propiciar mayor variabilidad genética.

**Palabras clave:** pinabete, abeto Douglas, caracterización ecológica, conservación de poblaciones, movimiento de semillas, análisis de riesgos, proceso de Análisis Jerarquizado (PAJ).

# DISTRIBUTION, ECOLOGICAL CHARACTERIZATION AND CONSERVATION OF POPULATIONS OF *Pseudotsuga menziesii* IN CENTRAL MEXICO

Araceli Ventura Ríos, M.C.  
Colegio de Postgraduados, 2009

*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco has 29 natural populations located in the states of Hidalgo, Tlaxcala and Puebla, with a total estimate of 9,029 Douglas-fir adult trees growing in an area of 682 hectares. The populations were found at altitudes varying from 2,450 to 3,400 m, in temperate climate, with mean annual temperature ranging from 10.1 to 14.0 °C and average annual rainfall from 611 to 1,109 mm. *Pseudotsuga* grows in mixed stands with *Abies religiosa* and several species of *Pinus* and *Quercus*, in N, NW and NE aspects. Soils are slightly acidic in pH, rich in organic matter and loamy-sandy or loamy texture. Population size varies from 4 to 1,450 mature trees; 11 populations have less than 100 adult trees. There is little natural regeneration in all of them. There is great fragmentation within their natural range. Based on a cluster analysis similarities between populations from Hidalgo (Zone I) and between locations of Tlaxcala and Puebla (Zone II) were detected; each zone has six groups of populations. In order to estimate the species extinction risk, field information was collected and owners were interviewed. Three criteria that directly define the risk level were proposed: anthropogenic (the most important), genetic and ecological; considering six, four, and four subcriteria for each criterion respectively. The analytical hierarchy process (AHP) was used to form a hierarchy of the problem and to weight the importance of the criteria and subcriteria through pair-wise comparison matrices. Risk levels for the *Pseudotsuga* populations were from very low to very high risk. The populations with a very low risk (four), low risk (eight), and medium risk (six) are those that receive only minor influence from genetic, ecological, and mainly from anthropogenic factors (average distance to roads and urban centers equal to 3 km, the holders devote themselves to agriculture). The populations with high or very high risk, six and five, respectively, are strongly influenced by anthropogenic (average distance to roads 1.4 km and urban centers equal to 2.2 km), ecological (presence of exotic species, null or scarce natural regeneration), and genetic (average number of reproductive-age trees less than 39, average distance among populations equal to 16 km, in other words, geographic isolation, and trees of age from mature to over-mature). It is recommended to realize *in situ* conservation activities prioritizing its implementation on the populations with the highest identified risk; it is also recommended to collect germoplasm from those populations and to artificially regenerate them and to exchange genetic material within groups, and occasionally between groups of populations, to restore the gene flow between them and to increase genetic diversity.

**Key words:** Douglas-fir, ecological characterization, population conservation, seed movement, risk analysis, analytical hierarchy process (AHP).

Este trabajo forma parte del proyecto de investigación “Conservación y Mejoramiento Genético de *Pseudotsuga* spp.; Conífera Estratégica del estado de Tlaxcala y la Región Central del País” realizado con apoyo económico del Fondo Sectorial CONAFOR-CONACYT, proyecto 2002-C01-6416.

## **AGRADECIMIENTOS**

Al CONACYT (Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología) por su valiosa ayuda económica otorgada para realizar mis estudios de Maestría, sin el cual no hubiera sido posible.

Al Colegio de Postgraduados por darme la oportunidad para continuar mi formación profesional, por abrirme las puertas a sus instalaciones, en especial al Programa Forestal, por brindarme apoyo en todo momento, por los profesores que apoyan la investigación.

Al Dr. Javier López Upton, por el constante esfuerzo, dedicación, tiempo y apoyo brindado durante el proceso de elaboración del presente documento; por su paciencia y esmero para mejorar el trabajo, por su dirección hasta la culminación del presente estudio.

Al Dr. J. Jesús Vargas Hernández. Por sus valiosas aportaciones al presente trabajo, ideas y sugerencias oportunamente, por sus valiosos conocimientos y mejoras al trabajo.

Al Dr. Rene Valdez Lazalde. Por las ideas y sugerencias para realizar de mejor manera el presente trabajo. Por todo su apoyo brindado en la revisión oportuna del documento.

Al Dr. Vidal Guerra de la Cruz. Por darme la oportunidad de trabajar en el proyecto, por brindarme el apoyo necesario para la ejecución del presente trabajo, por su amabilidad y atenciones prestadas.

Al MC. Patricio Sánchez Guzmán. Por el apoyo brindado en el análisis de las muestras de suelo. Por tu amistad, por el apoyo brindado en todo tiempo.

Al Ing. Carlos Palacios. Por todo el apoyo y tiempo dedicado, pero sobre todo por tu amistad.

A la Sra. Carmen Bojorges Bautista. Por sus múltiples atenciones, apoyo, palabras y consejos, por su amistad.

A los Biólogos: Rafael Escobar, Rogelio, Margarito Cruz Castillo, en la ayuda a localizar poblaciones de pinabete y toma de datos en campo.

A los señores Lauro Guadalupe Franco Mejía, Asunción Hernández Néquiz y Maximino Juárez Zárate por su apoyo en el trabajo de campo. A Sergio Prado Almeraya por su ayuda en el procesamiento de las muestras de suelo y su análisis.

## DEDICATORIA

*A la memoria de todas aquellas personas que contribuyeron a la realización del presente documento, mil gracias.*

## CONTENIDO

	Página
RESUMEN GENERAL -----	iii
GENERAL ABSTRACT -----	iv
AGRADECIMIENTOS -----	vi
DEDICATORIA -----	vii
CONTENIDO -----	viii
LISTA DE CUADROS -----	xi
LISTA DE FIGURAS -----	xii
LISTA DE ANEXOS -----	xii
<b>I. INTRODUCCIÓN GENERAL -----</b>	<b>1</b>
1.1. OBJETIVOS -----	4
1.1.1. Objetivo general -----	4
1.1.2. Objetivos específicos -----	4
<b>II. REVISIÓN DE LITERATURA -----</b>	<b>5</b>
2.1 Descripción del género <i>Pseudotsuga</i> -----	5
2.1.1 Taxonomía -----	5
2.1.2 Nombre común de <i>Pseudotsuga menziesii</i> (Mirb.) Franco -----	7
2.1.3 Descripción botánica -----	7
2.1.4 Fenología -----	9
2.1.5 Ecología -----	10
2.1.6 Plagas que atacan a <i>Pseudotsuga menziesii</i> -----	11
2.1.7 Descripción de la madera -----	12
2.1.8 Repoblación de los bosques de <i>Pseudotsuga menziesii</i> -----	12
2.1.9 Usos y aplicaciones de <i>Pseudotsuga menziesii</i> -----	13
2.2 Distribución de <i>Pseudotsuga menziesii</i> -----	14
2.2.1 Distribución geográfica de <i>Pseudotsuga menziesii</i> en México -----	14
2.3 Protección legal de <i>Pseudotsuga menziesii</i> en México -----	17
<b>III. CARACTERIZACIÓN DE <i>Pseudotsuga menziesii</i> EN LA ZONA CENTRO DE MÉXICO ---</b>	<b>18</b>
RESUMEN -----	18



ABSTRACT .....	19
3.1. INTRODUCCIÓN .....	20
3.2. MATERIALES Y MÉTODOS .....	22
3.2.1 Ubicación y delimitación de las poblaciones de <i>Pseudotsuga menziesii</i> .....	22
3.2.2. Caracterización ecológica de las poblaciones de <i>Pseudotsuga menziesii</i> .....	23
3.2.3. Agrupación de las poblaciones .....	24
3.3. RESULTADOS .....	25
3.3.1. Ubicación y delimitación de las poblaciones de <i>Pseudotsuga menziesii</i> .....	25
3.3.2. Descripción de las poblaciones de <i>Pseudotsuga menziesii</i> en la zona centro de México .....	27
3.3.3. Condiciones ecológicas generales de los hábitats de <i>Pseudotsuga menziesii</i> .....	58
3.3.4. Agrupamiento de las poblaciones .....	69
3.4 DISCUSIÓN .....	76
3.5 CONCLUSIONES .....	78
<b>CAPITULO IV. ANÁLISIS DE RIESGOS EN POBLACIONES DE <i>Pseudotsuga menziesii</i> EN LA ZONA CENTRO DE MÉXICO</b> .....	79
RESUMEN .....	79
ABSTRACT .....	80
4.1 INTRODUCCIÓN .....	81
4.2 MATERIALES Y MÉTODOS .....	83
4.2.1 Caracterización socioeconómica de los centros de población donde se desarrolla <i>P. menziesii</i> .....	83
4.2.2 Proceso de análisis jerarquizado (PAJ) .....	83
4.2.3 Descripción de los criterios y subcriterios usados en el estudio .....	85
4.2.3.1 Criterio antropogénico .....	85
4.2.3.2 Criterio genético .....	87
4.2.3.3 Criterio ecológico .....	89
4.2.4 Construcción de la matriz de comparación pareada (MCP) .....	90
4.2.5 Cálculo de los pesos de los criterios y subcriterios por el PAJ (Proceso Analítico Jerarquizado) .....	90

4.2.6 Regla de decisión (integración) para el cálculo del riesgo de las poblaciones de <i>P. menziesii</i> -----	91
4.3 RESULTADOS -----	93
4.4 DISCUSIÓN -----	96
4.5 CONCLUSIONES -----	98
<b>V. DISCUSIÓN GENERAL</b> -----	99
<b>VI. CONCLUSIONES GENERALES</b> -----	101
<b>VII. LITERATURA CITADA</b> -----	102
<b>VIII. ANEXO</b> -----	110

## LISTA DE CUADROS

Cuadro 2. 1. Categoría taxonómica de <i>Pseudotsuga menziesii</i> (Mirb.) Franco -----	5
Cuadro 3.1. Ubicación geográfica y superficie aproximada de las poblaciones de <i>Pseudotsuga menziesii</i> en la zona de estudio -----	26
Cuadro 3.2. Tipo de clima, temperatura media anual (T), precipitación media anual (PP) e índice de aridez de 29 poblaciones de <i>P. menziesii</i> en la zona centro de México -----	61
Cuadro 3.3. Factores edáficos de las poblaciones naturales de <i>P. menziesii</i> en la zona centro de México-----	63
Cuadro 3.4. Tipos de vegetación y especies arbóreas asociadas de las poblaciones de <i>Pseudotsuga menziesii</i> en la zona centro de México-----	66
Cuadro 3.5. Factores topográficos y fisiográficos de las poblaciones naturales de <i>Pseudotsuga menziesii</i> en la zona centro de México-----	68
Cuadro 3.6. Grupos de poblaciones de <i>Pseudotsuga menziesii</i> , según el análisis de agrupamiento-----	69
Cuadro 4.1. Escala fundamental usada en la comparación por pares (Saaty, 1980) -----	85
Cuadro 4. 2. Valores estandarizados para los subcriterios utilizados para determinar el riesgo de 29 poblaciones de <i>P. menziesii</i> -----	86
Cuadro 4.3. Pesos relativos de los criterios utilizados para estimar el grado de riesgo de las poblaciones de <i>P. menziesii</i> en la zona centro de México -----	91
Cuadro 4.4. Pesos relativos de los subcriterios antropogénicos utilizados para estimar el grado de riesgo de las poblaciones de <i>P. menziesii</i> en la zona centro de México -----	92
Cuadro 4.5. Pesos relativos de los subcriterios genéticos utilizados para estimar el grado de riesgo de las poblaciones de <i>P. menziesii</i> en la zona centro de México-----	92
Cuadro 4.6. Pesos relativos de los subcriterios ecológicos para estimar el grado de riesgo de las poblaciones de <i>P. menziesii</i> en la zona centro de México-----	92
Cuadro 4.7. Grado de riesgo que presentan las poblaciones de <i>Pseudotsuga menziesii</i> en la zona centro de México -----	95

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 Acículas de <i>P. menziesii</i> -----	8
Figura 2.2 Ramillas secundarias de <i>P. menziesii</i> -----	8
Figura 2.3 Yemas de <i>P. menziesii</i> -----	9
Figura 2.4 Cono de <i>P. menziesii</i> -----	9
Figura 2.5. Plaga atacando a cono de <i>P. menziesii</i> -----	12
Figura 2.6. Distribución natural de <i>Pseudotsuga menziesii</i> -----	15
Figura 2.7. Distribución natural de <i>Pseudotsuga menziesii</i> (según archivos de exploración y datos de colecta de Domínguez, Vargas y López, 2007; Colegio de Postgraduados)-----	16
Figura 3.1. Ubicación de los municipios donde se desarrolla <i>Pseudotsuga menziesii</i> en los estados de Hidalgo, Tlaxcala y Puebla zona centro de México -----	22
Figura 3.2. Ubicación geográfica de las poblaciones de <i>Pseudotsuga menziesii</i> en los estados de Hidalgo, Tlaxcala y Puebla -----	27
Figura 3.3. Rodal de <i>Pseudotsuga menziesii</i> en San José Capulines, Hgo -----	30
Figura 3.4. Rodal de <i>Pseudotsuga menziesii</i> en alrededores de la presa Jaramillo -----	33
Figura 3.5. Rodal de <i>Pseudotsuga menziesii</i> en la población de Villarreal, Tlax -----	41
Figura 3.6. Daños ocasionados a los individuos de <i>P. menziesii</i> en la población de Villarreal, Tlax-----	42
Figura 3.7. Evidencias del incendio ocurrido en 1999 en el rodal de Emiliano Zapata, Tlax ----	44
Figura 3.8. Cambio de uso de suelo, en las cercanías del rodal de <i>P. menziesii</i> en Tonalapa, Pue -----	53
Figura 3.9. Rodal de <i>Pseudotsuga menziesii</i> en la población de Cuatexmola, Pue -----	54
Figura 3.10. Dendrograma de las poblaciones de <i>Pseudotsuga menziesii</i> localizadas en la zona centro de México, basado en un análisis de conglomerados de siete variables biofísicas -----	70
Figura. 4.1. Jerarquización del problema de decisión -----	84

## LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Encuesta aplicada a los propietarios de las poblaciones de <i>P. menziesii</i> -----	110
-----------------------------------------------------------------------------------------------	-----

## CAPÍTULO I

### INTRODUCCIÓN GENERAL

El territorio mexicano es considerado por los biogeógrafos como una zona de transición entre dos grandes regiones: la neotropical y la neártica, las cuales hicieron contacto hace aproximadamente seis millones de años. Debido a esto, México constituye una zona donde el contacto entre biotas ancestrales ha dado como resultado una mezcla de flora y fauna con historias biogeográficas diferentes (Flores y Gerez, 1994).

Además de las características biogeográficas, otro elemento histórico importante es el relacionado con los cambios ocurridos en el Pleistoceno, cuando los glaciares se extendieron a latitudes menores en nuestro país, evento que propició el establecimiento de especies de climas fríos. Posterior a la última glaciación la temperatura se elevó, restringiendo la distribución de muchas especies de clima frío a zonas denominadas refugios pleistocénicos. Esto ocasionó el aislamiento de la biota y su evolución por separado en las montañas de México. En particular, los bosques húmedos después del Pleistoceno adquirieron una condición en forma de islas de hábitats, donde se localizan especies y subespecies endémicas de distintos grupos taxonómicos (Cordero y Morales, 1998).

Entre las coníferas, una de las especies que sobrevivió en México después de la última glaciación es *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco. El aumento paulatino de la temperatura forzó a esta especie a moverse del sur hacia el norte y a mayor elevación en las sierras (Li y Adams, 1989), lo que ocasionó una distribución fragmentada y discontinua en manchones aislados y pequeños. Actualmente la distribución natural de esta conífera en México abarca el norte de las sierras Madre Occidental y Madre Oriental, con algunos bosquetes aislados y pequeños en el este del Eje Neovolcánico Transversal (Rzedowski, 1978; Domínguez, 1994) y dos poblaciones aisladas en la sierra Norte y sierra Sur de Oaxaca (Debreczy y Rácz, 1995; Del Castillo *et al.*, 2004). En años recientes se han ubicado más de 25 poblaciones aisladas y con escaso número de árboles (entre 15 y 2,000 por cada población) en los estados de Hidalgo, Tlaxcala y Puebla (Velasco *et al.*, 2007; Mápula *et al.*, 2007), reconociéndose además que *P. menziesii* es la única especie del género que se desarrolla en el país (Reyes *et al.*, 2005; 2006). Sin embargo, sólo se cuenta con información sobre su tamaño y estado de conservación de 12 poblaciones (Yáñez, 1991; Domínguez, 1994; Domínguez *et al.*, 2004; Vásquez,

2004; Torres, 2006) por lo que faltan estudios sobre la ubicación geográfica precisa y características ecológicas de cada población identificada.

Desde el punto de vista ecológico, las poblaciones naturales de *P. menziesii* representan una aportación única a la biodiversidad de México, especialmente en las comunidades vegetales de clima templado-frío. En las comunidades arbóreas donde *Pseudotsuga* es el elemento principal se encuentra una gran diversidad biológica (Domínguez, 1994), por lo que el mantenimiento de este hábitat es importante para la permanencia de las especies asociadas.

Aunque la madera de *Pseudotsuga menziesii* es de buena calidad, su aprovechamiento se encuentra limitado por estar incluida en la Norma Oficial Mexicana NOM-059-ECOL-2001 como organismo sujeto a protección especial. A pesar de lo anterior, no existen programas oficiales que fomenten su protección, por ejemplo a través del pago por la conservación de los árboles o bien por la repoblación de los bosquetes.

Derivado de lo anterior, la situación actual de las poblaciones de *P. menziesii* localizadas en el centro de México es crítica ya que existen diversos factores de carácter genético, antropogénico, legal y ambiental, entre otros, que ponen en riesgo la supervivencia de la especie. Entre los factores de riesgo genético se pueden mencionar, el tamaño reducido, la baja densidad y el aislamiento de las poblaciones. Estos factores reducen la posibilidad de que se presente polinización cruzada, y al mismo tiempo aumentan la endogamia, con la consecuente disminución de la variabilidad dentro de poblaciones, reduciendo así su éxito reproductivo y competitivo (Sorensen y Miles, 1974; Mosseler *et al.*, 2000). Lo anterior se ha observado especialmente en las poblaciones del centro de México, a diferencia de las del norte (Juárez *et al.*, 2006; Velasco *et al.*, 2006; Mapúla *et al.*, 2007), donde las poblaciones son de mayor tamaño y en general presentan mayor repoblación natural.

Por otro lado, el pronóstico de un aumento en la temperatura de la atmósfera (calentamiento global) representa una amenaza para las poblaciones de esta especie ya que ello aceleraría su probable “emigración” o desaparición (Sala *et al.*, 2000). Además, factores antropogénicos como el cambio de uso de suelo, los aprovechamientos clandestinos, el sobrepastoreo, los incendios y la cosecha desordenada de semilla ponen en riesgo la permanencia de los rodales de *Pseudotsuga* en el centro del país.

La conservación de las poblaciones existentes y el fomento de su uso legal hace necesario conocer su ubicación precisa, bajo que condiciones se desarrollan y que factores ponen en riesgo su permanencia en los ecosistemas. En este contexto, el presente estudio se realizó con el propósito de caracterizar desde el punto de vista ecológico y ubicar geográficamente las poblaciones de *Pseudotsuga menziesii* en los estados de Hidalgo, Tlaxcala y Puebla (Capítulo III), así como de conocer y analizar los posibles riesgos que presenta cada población ante fenómenos naturales y antropogénicos (Capítulo IV) y proponer una estrategia de conservación de la especie en la región.

## 1.1. OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo general

- Diseñar una estrategia de conservación *in situ* para las poblaciones de *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco en los estados de Hidalgo, Tlaxcala y Puebla.

### 1.1.2 Objetivos específicos

- Determinar la distribución geográfica y estimar el tamaño de las poblaciones de *Pseudotsuga menziesii* en el centro de México.
- Caracterizar ecológicamente las poblaciones de *Pseudotsuga menziesii*.
- Analizar los riesgos de desaparición que presentan las poblaciones de *Pseudotsuga menziesii*.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA



## 2.1. Descripción del género *Pseudotsuga*

### 2.1.1 Taxonomía

El género *Pseudotsuga* pertenece a la familia Pinaceae, al orden Coniferales, a la clase Pinophyta y a la división Spermatophyta (Cuadro 1). Uno de los estudios más sobresalientes sobre el género lo realizó el francés Fernandine Flous en 1934, en el que menciona 18 especies a nivel mundial *Pseudotsuga forrestri*, *P. gaussenii*, *P. japonica*, *P. salvadori*, *P. sinensis* y *P. wilsoniana* en Asia; y *P. caesia*, *P. californica*, *P. douglasi*, *P. flahaultii*, *P. glauca*, *P. globulosa*, *P. guinieri*, *P. macrocarpa*, *P. merrilli*, *P. rehderi*, *P. vancouverensis* y *P. macrolepis* en América del Norte.

Cuadro 2.1. Categoría taxonómica de *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco.

<b>Reino</b>	Plantae
<b>División</b>	Spermatophyta
<b>Clase</b>	Pinophyta
<b>Orden</b>	Coniferales
<b>Familia</b>	Pinaceae
<b>Subfamilia</b>	Abietinae
<b>Género</b>	<i>Pseudotsuga</i>
<b>Especie</b>	<i>menziesii</i>
<b>Nombre científico</b>	<i>Pseudotsuga menziesii</i> (Mirb.) Franco

Basado en el trabajo de F. Flous, Martínez (1963) propone la existencia de cuatro especies de *Pseudotsuga* para México: *Pseudotsuga macrolepis* Flous, *P. rehderi* Flous, *P. flahaultii* Flous y *P. guinieri* Flous. Sin embargo, debido a que estas descripciones se basaron únicamente en características morfológicas y anatómicas de hojas y conos, existe una estrecha similitud y traslape en los valores de las características entre los taxa, así como en las áreas de distribución. Los taxónomos norteamericanos y de otros países no aceptan la existencia de estas especies (Owston y Stein, 1974; Farjon, 1990; Clair *et al.*, 2005) y sólo reconocen dos variedades: *Pseudotsuga menziesii* var. *menziesii*, conocida como el abeto Douglas de la costa, ya que se distribuye a lo largo de la Costa del Pacífico en

Norteamérica (California, Oregón, Washington y Columbia Británica) y *Pseudotsuga menziesii* var. *glauca*, la cual se distribuye desde las Montañas Rocallosas en Columbia Británica hasta el centro de México (Farjon, 1990; Clair *et al.*, 2005; www.agrobyte.com).

Dichos autores consideran que las diferencias morfológicas de las poblaciones mexicanas son simplemente consecuencia de variación clinal y ecotípica entre las mismas. Debido a la variación topográfica y microambiental donde habita *Pseudotsuga*, probablemente han estado sujetas a procesos de diferenciación morfológica y genética, lo que ha ocasionado confusión y controversia en cuanto al número de especies existentes (Reyes, *et al.*, 2005; 2006). Colectas botánicas recientes sobre el género *Pseudotsuga* en México coinciden en señalar que las poblaciones mexicanas corresponden a la especie de *Pseudotsuga menziesii* (Farjon, 1990; Debreczy y Rácz, 1995). Así, Little (1979) y Farjon (1990) proponen que las poblaciones mexicanas pertenecen a *Pseudotsuga menziesii* var. *glauca*.

Durante las exploraciones realizadas por Debreczy y Rácz en 1994 se descubrieron dos poblaciones de *Pseudotsuga menziesii* en Ixtlán, en el estado de Oaxaca. Debreczy y Rácz (1995) proponen que el pinabete que crece en esta región es otra variedad de la especie debido a las diferencias morfológicas con respecto a las variedades de *Pseudotsuga*, denominándola *Pseudotsuga menziesii* var. *oaxacana* (Acevedo, 1998). Las principales características morfológicas que difieren con respecto a las otras variedades es el tamaño del cono (2-4x1.5 cm) y de ramillas (son más pequeñas); el arbolado presenta diámetros máximos de 85 cm, y se desarrolla en un rango altitudinal de 2,400 a 2,720 m, con exposición noroeste y pendientes de 27 a 100% (Acevedo, 1998).

En la localidad de “Peña Prieta” de Santa Catarina Ixtepeji, Oaxaca, se reporta que las variables estructurales (diámetro, altura, edad) son los de un bosque incoetáneo. Dicha población cobra importancia por representar el límite más sureño de la distribución natural de la especie y de todo el género *Pseudotsuga* en el mundo (Acevedo, 1998).

Estudios realizados recientemente en poblaciones naturales de la especie en México (Reyes *et al.*, 2005; 2006) con base en características morfológicas y anatómicas de conos, hojas y ramillas, en un total de 293 árboles procedentes de 19 localidades de tres regiones diferentes (noroeste, noreste y centro) de México, confirman una fuerte diferenciación entre regiones en la mayoría de las variables consideradas. La variabilidad morfológica de las poblaciones está asociada con la región geográfica de origen, y no a los taxa putativos propuestos por Flous (1938) y Martínez (1963), por lo mismo no existen

bases morfológicas y anatómicas suficientes para establecer una separación clara de los taxa. Además, en el estudio se encontró que las poblaciones del centro del país forman un grupo diferenciado morfológica y anatómicamente del resto de las poblaciones analizadas, probablemente debido a su aislamiento geográfico, así como a las diferencias ambientales existentes entre esta región del país y las regiones del noroeste y noreste de México (Reyes *et al.*, 2005; 2006).

### **2.1.2 Nombre común de *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco:**

En el norte del país, particularmente en los estados de Chihuahua, Durango, Coahuila y Nuevo León se le conoce como: pinabete, hallarín, guayamé colorado, hallarín colorado, acahuite y guáyame (Martínez, 1979); en la zona centro de México, en los estados de Hidalgo, Tlaxcala y Puebla se le conoce como abeto rojo, pinabete, oyamel chino o romerillo (Mápula, 1995). Actualmente, debido a la importación de árboles de navidad, se le está comercializando como abeto Douglas, derivado de su nombre en inglés "*Douglas fir*". Otra denominación vulgar que se da a este árbol es pino de Oregón, empleado frecuentemente para referirse tanto al árbol como a su madera, puede llevar a confusiones, ya que no se trata en absoluto de una especie de pino ([www.agrobyte.com](http://www.agrobyte.com)).

### **2.1.3 Descripción botánica**

De acuerdo con Martínez (1963): *Pseudotsuga* es un árbol de porte grande, con altura entre 12 y 40 m y diámetro normal entre 35 y 70 cm y hasta 3 metros. La copa es compacta de forma piramidal en árboles viejos en arbolado joven es cónica. Las ramas están dispuestas irregularmente o en forma subverticilada, extendidas y algo levantadas. La corteza es de color pardo-grisáceo por fuera y rojizo anaranjado por dentro, de 15 a 25 mm de espesor, áspera y hendida, dividida en pequeñas placas irregulares.



Las acículas son delgadas (Figura 2.1), las inferiores subdisticas, y las superiores están orientadas en todas

direcciones; son rectas o levemente falcadas, lineares, por lo general de 15 a 25 mm de largo por 1.25 a 1.40 mm de ancho, de color verde claro, a veces algo amarillento y glauco en la cara inferior.

El ápice es obtuso o agudo y en algunas ocasiones redondeado, y la base algo torcida; tiene una hendidura longitudinal en la cara superior llegando hasta la extremidad, y una cresta poco saliente en la cara inferior. Los estomas se encuentran formando de 7 a 12 hileras a cada lado de la cresta. Las acículas son persistentes y permanecen en el árbol de 5 a 8 años.

Las ramillas secundarias son algo colgantes, extendidas y frágiles, su color es moreno ceniciento tendiendo a rojizo (Figura 2.2). Las últimas ramillas más o menos extendidas, de color moreno ceniciento abajo y rojizo anaranjado hacia la punta. La superficie es hirsuta, con los pelillos esparcidos y cortos.



Figura 2. 2. Ramillas secundarias de *P. menziesii*.

Los estróbilos son de color rojo-anaranjado arreglados en conitos axilares, cilíndrico oblongos, caedizos, de aproximadamente 10 mm de largo y protegidos por brácteas traslucidas de color castaño. Los estróbilos femeninos están colocados en conillos terminales o axilares de color verde-rojizo y protegidos por escamas provistas de grandes brácteas; en la base de cada escama hay dos óvulos.



Figura 2.3. Yemas de *P. menziesii*.

Las yemas son largamente ovoides acuminadas (Figura 2.3), protegidas por brácteas de color castaño claro hacia el ápice y miden de 8 a 12 mm de largo. Las brácteas miden de 27 a 30 mm de largo por 5 mm de ancho, con la punta central sobresaliendo unos 5 mm y las laterales no salientes o apenas salientes, con el borde rasgado hacia la parte superior; por lo general son derechas, pero en ocasiones y sobre todo en ejemplares viejos, se observan reflejadas hacia la base del cono.

El cono es oval o largamente ovoide de 5.5 a 7 cm de largo (Figura 2.4), pocas veces alcanza los 8 cm, de 3.5 a 4 cm de diámetro, con 25 a 30 escamas fértiles (Mápula, *et al.*, 2008; Reyes *et al.*, 2005). Su color es moreno oscuro rojizo, y descansa sobre un pedúnculo delgado, de 8 a 10 mm de largo. Las semillas son vagamente ovoides o subtriangulares, de 5 a 7 mm de largo por 3.6 mm de ancho, aplanadas en una cara y convexas en la otra, donde queda envuelta por la base del ala; su color es moreno opaco en la cara plana y castaño en la convexa; el ala mide aproximadamente 15 mm de largo.



Figura 2.4. Cono de *P. menziesii*.

El número de semillas por kilogramo oscila entre 80,000 y 90,000.

#### 2.1.4 Fenología

La especie de *Pseudotsuga menziesii* es monoica y presenta la tendencia de florecer solamente a edad intermedia entre los 20 y 40 años; rara vez florece a los 12 y si lo hace producen poca semilla (Yañez, 1991). Las yemas reproductivas se observan desde principios del mes de noviembre hasta finales de febrero; la floración ocurre desde finales de febrero hasta principios de abril; la polinización en el mes de marzo y el desarrollo de los conos comprende desde marzo hasta mediados de agosto.

Los conos maduran desde principios de agosto hasta finales de septiembre (Contreras, 1992; Martínez *et al.*, 2007; Velasco *et al.*, 2007) y generalmente la producción abundante de conos ocurre en periodos de 4 a 6 años. De acuerdo con Martínez (2007) la dispersión de la semilla de *P. menziesii* en México inicia a principios de septiembre y termina a mediados de octubre, existiendo una amplia variación en la fecha de maduración entre poblaciones y entre árboles dentro de una población. En estudios sobre dispersión de semilla en poblaciones del centro de México, se encontró que 97% de la dispersión se presenta de octubre a junio (Velasco *et al.*, 2007) y la diseminación de la semilla es por viento principalmente.

### 2.1.5. Ecología

En México, *P. menziesii* se desarrolla en pequeños manchones, mezclada con especies de pinos, *Abies* y *Quercus*, en sitios sombríos y húmedos, preferentemente en laderas de cañadas, barrancas o valles muy protegidos. Forma bosques entre altitudes de 1,500 a 3,600 m (Rzedowski, 1978) prefiere climas templados y fríos. Esta especie se desarrolla mejor sobre pendientes de 35 a 100% (Domínguez, 1986; Acevedo, 1998) regularmente en exposición norte, noreste y noroeste por presentar mayor cantidad de humedad en su interior, poco movimiento de los vientos y mínima insolación (Rzedowski, 1978).

Se adapta a una gran variedad de suelos, aunque aquellos que presentan altos contenidos de nitrógeno y buena porosidad son los preferidos. Los tipos de suelo donde se desarrolla son el Regosol, Feozem, Leptosol y Cambisol (Rzedowski, 1978). Tiene mejor desarrollo en aquellos con texturas franco-arenosa, arcillosas y francos; de color café y gris, profundos y bien drenados, con pH de 5 a 6, materia orgánica abundante a pobre, con buena humedad del ambiente y del suelo, aunque soporta cierto nivel de sequía edáfica por algunos meses (Domínguez, 1986; Acevedo, 1998).

Diversos estudios indican que en México *Pseudotsuga* crece sobre una gran variedad de suelos; por ejemplo, en el norte de Chihuahua los suelos son de origen ígneo (Le Sueur, 1945), en la cuenca del río Mayo en Sonora se encuentra en suelos delgados de gravas arcillosas (Gentry, 1942). En Veracruz los suelos donde habita *Pseudotsuga* son delgados, arenosos y arcillosos. En Oaxaca crece en suelos poco desarrollados, delgados y pedregosos con un contenido de materia orgánica de elevado a pobre (Domínguez, 1986). En Puebla el suelo es de origen sedimentario, medianamente profundo y

poco pedregoso (Vasquez, 2004). En los estados de Hidalgo y Tlaxcala no se han determinado con claridad los tipos de suelo donde crece esta especie.

Las raíces de *P. menziesii* son profundas, aunque dependen de la humedad del suelo, ya que son más cortas cuando el suelo se encuentra húmedo y están expuestas a daños ocasionados por el viento (Sanhueza *et al.*, 1998). La repoblación natural se hace exclusivamente a través de semillas (Domínguez, 1986); la germinación es más rápida cuando está en contacto con el suelo húmedo y bajo sombra o bajo árboles protectores (Yañez, 1991). Sin embargo, se debe tomar en cuenta el grado de luminosidad que necesita esta especie para regenerarse, ya que tiene pocas posibilidades si ésta es menor al 20% (INFOR-CONAF, 1998).

Domínguez (1994) menciona que la fórmula climática reportada para los lugares donde se localizan los bosques de *P. menziesii*, es C (W2) (b") (e) que corresponde a un clima templado subhúmedo con lluvias en verano. Uno de los inconvenientes de la especie es la susceptibilidad a las heladas que se presentan durante el período de crecimiento, en particular en el año de establecimiento de las plántulas (Sanhueza *et al.*, 1998). Esta especie frecuentemente se desarrolla asociada con otros géneros arbóreos como *Abies*, *Picea*, *Pinus*, *Cupressus*, *Quercus*, *Arbutus*, *Populus*, *Prunus*, *Juniperus* y *Alnus* (Rzedowski, 1978; Domínguez, 1983; Farjon, 1990; Nájera, 1990; Acevedo, 1998; Velasco *et al.*, 2007).

#### **2.1.6. Plagas que atacan a *Pseudotsuga menziesii***

Seis órdenes de insectos (coleóptero, díptera, hemíptero, homóptera, heminoptera, lepidóptera) dañan los conos y semillas de esta especie. El orden lepidóptero tiene el número más alto de plagas y por ende se le considera el más importante; las otras órdenes están representadas por pocas especies que también pueden alimentarse del follaje y del cambium (Hedlin, 1981).



Figura 2.5. Plaga atacando a cono de *P. menziesii*.

Domínguez (1994) menciona que en algunas localidades de los estados de Chihuahua, Durango, Coahuila e Hidalgo se identificaron los siguientes patógenos: *Megastigmus sp*, *Dioryctria pinicollella*, *Choristoreura sp*, *Chiropthris falsus* y *Pseudohylesinus sp*. Estos insectos viven y se alimentan de conos, semillas, estróbilos femeninos, brotes, follaje, corteza y hasta de las raíces del pinabete.

### 2.1.7 Descripción de la madera

Por las excelentes propiedades de su madera *P. menziesii* se ha difundido por el mundo (Hermann y Lavender, 1999). A edad adulta la madera de esta especie es dura y de textura fina, con una gran resistencia mecánica pero fácil de trabajar y una vez aserrada muestra un grano muy apreciable (Celis, 1996).

Los nudos suelen ser de diámetro pequeño; dado que tiene una buena capacidad de poda natural de las ramas, además de presentar una resistencia moderada a la pudrición, lo que permite que sea usada sin tratamiento (Mullins y McKnight, 1981).

Respecto a la producción de madera de la especie de manera legal, en el estado de Chihuahua se han reportado los mayores volúmenes de producción, con cifras de 36, 779 m<sup>3</sup> año<sup>-1</sup> aproximadamente, distribuida en varios ejidos y pequeñas propiedades (Domínguez, 1994).

### 2.1.8 Repoblación de los bosques de *Pseudotsuga menziesii*

Estudios recientes muestran que las poblaciones de *P. menziesii* del centro de México presentan una baja producción de semillas (Mápula *et al.*, 2007; Velasco *et al.*, 2007). Aunado a lo anterior, el período de máxima dispersión de semillas llenas parece no favorecer a la especie en esta



región puesto que las semillas deben permanecer hasta siete meses en el piso forestal antes de que se presenten las condiciones adecuadas de humedad para germinar (Velasco *et al.*, 2007). Durante ese periodo de tiempo, las semillas pueden ser depredadas por roedores y pájaros (Allen y Owens, 1972; Hermann y Lavender, 1990), reduciendo así las posibilidades de repoblación en la siguiente temporada de lluvias.

La escasa cantidad de semillas disponibles para germinar resulta crítica, ya que la dominancia de otras especies arbóreas en estas poblaciones de *P. menziesii* la ponen en desventaja para el reclutamiento de plántulas en las etapas posteriores a la germinación, lo cual conduce a una baja o nula repoblación natural de la especie (Velasco *et al.*, 2007). Esta situación, pone en riesgo la permanencia de las poblaciones de *Pseudotsuga* en la región centro del país.

### **2.1.9 Usos y aplicaciones de *Pseudotsuga menziesii***

*Pseudotsuga menziesii* juega un papel importante en los ecosistemas donde se desarrolla, ya que es un elemento botánico relevante dentro de la mezcla de los bosques del oeste norteamericano (Domínguez, 1986). En Canadá y EE.UU. se cultiva para la producción de madera en rollo, como árbol ornamental y para árbol de navidad; también se han realizado plantaciones comerciales para la producción de madera en varios países de Sudamérica, Europa y Oceanía (Owston y Stein, 1974; Hermann y Lavender, 1999).

A lo largo de la Costa Oeste de Estados Unidos y Canadá, *Pseudotsuga menziesii* es la especie con mayor valor comercial, por sus características tecnológicas dicha especie produce madera aserrada de grandes dimensiones y se emplea en la construcción de edificios. Su pulpa se considera de alta calidad para elaborar papel y su corteza se usa como fuente de taninos (Domínguez, 1986). *P. menziesii* es una de las coníferas más importantes del mundo por su amplia distribución, por la superficie plantada en varios países y por su valor económico (Owston y Stein, 1974; Hermann y Lavender, 1999).

En México, la madera se usa para construcciones locales, pero no existe una producción comercial abundante. En años recientes la demanda de semilla se ha elevado debido a que la producción de plantas destinadas al establecimiento de plantaciones de árboles de navidad ha incrementado, especialmente en el centro del país. *Pseudotsuga* tiene grandes perspectivas

económicas en nuestro país, dado que la calidad de su madera es similar a la de las especies norteamericanas a pesar de que los usos que hasta ahora ha recibido se restringen a la fabricación de durmientes para minas y construcciones en general (Domínguez, 1986). No obstante, su aprovechamiento se encuentra limitado por ubicarse en la lista de especies bajo Protección especial en la Norma Oficial Mexicana NOM-ECOL-059, que protege a este género desde 1994, protección que fue ratificada en el 2002 (DOF, 2002).

## **2. 2 Distribución de *Pseudotsuga menziesii***

La distribución de *Pseudotsuga menziesii* es endémica del continente Americano, y crece de manera natural desde los 55° 00' en Columbia Británica en Canadá, hasta los 16° 13' de latitud Norte, en las montañas del sur de México (Figura 2.6) (Hermann y Lavender, 1995; Del Castillo *et al.*, 2004).

### **2.2.1 Distribución geográfica de *Pseudotsuga menziesii* en México**

En el territorio mexicano las poblaciones de esta especie se encuentran fragmentadas, encontrándose rodales o manchones aislados la mayoría de las veces mezclados y dominados por otras especies (Del Castillo *et al.*, 2004; Domínguez *et al.*, 2004; Reyes *et al.*, 2006). La distribución natural de *P. menziesii* en nuestro país incluye la porción norte de la sierra Madre Occidental, en los estados de Chihuahua, Sonora, Coahuila, Durango y Zacatecas, donde ocupa la mayor extensión de su área de distribución natural, y en la sierra Madre Oriental, en los estados de Nuevo León, Coahuila y Tamaulipas (Figura 2.7).

En la región centro del país se ubica en los estados de Querétaro, Hidalgo, Puebla, Tlaxcala y Veracruz (Domínguez, 1986; Vázquez, 2004). En 1983, se reportó una nueva localidad para el género *Pseudotsuga* en la región de Huayacocotla, Ver., (Domínguez, 1986), y en Pinal de Amoles, Qro., (Domínguez *et al.*, 2004). En el sur de México se le ha encontrado en el estado de Oaxaca, donde se localizan dos poblaciones, una en la sierra Norte (Debreczy y Rác, 1995) y otra en la sierra Madre del Sur, la que es límite natural austral de la especie (Acevedo, 1998; Del Castillo *et al.*, 2004). Cabe mencionar que Debreczy y Racz (1995) reportan a la comunidad de *P. menziesii*, en el norte del estado de Oaxaca, a 17° 10' 50", en un lugar denominado "Peña Prieta" del municipio de Santa Catarina Ixtepeji. En esta localidad la especie habita en un área no mayor de 6 a 8 hectáreas en donde se encuentran alrededor de 200 individuos maduros (Acevedo, 1998).

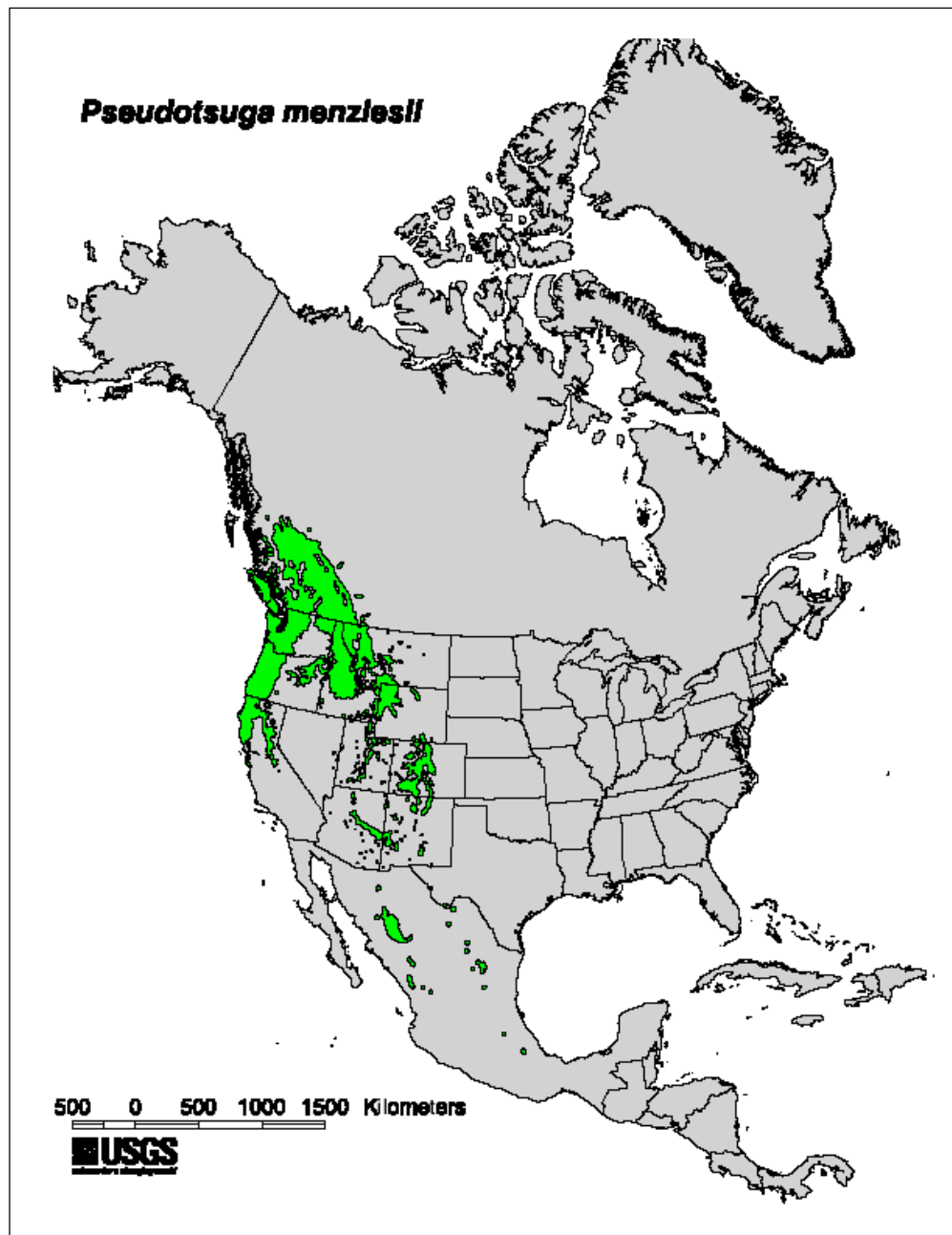


Figura 2.6. Distribución natural de *Pseudotsuga menziesii*.

Fuente: U.S. Geological Survey, 1999, Digital representation of "Atlas of United States Trees" by Elbert L. Little, Jr. <http://climchange.cr.usgs.gov/data/atlas/little/>, accessed 27-Nov-2001.

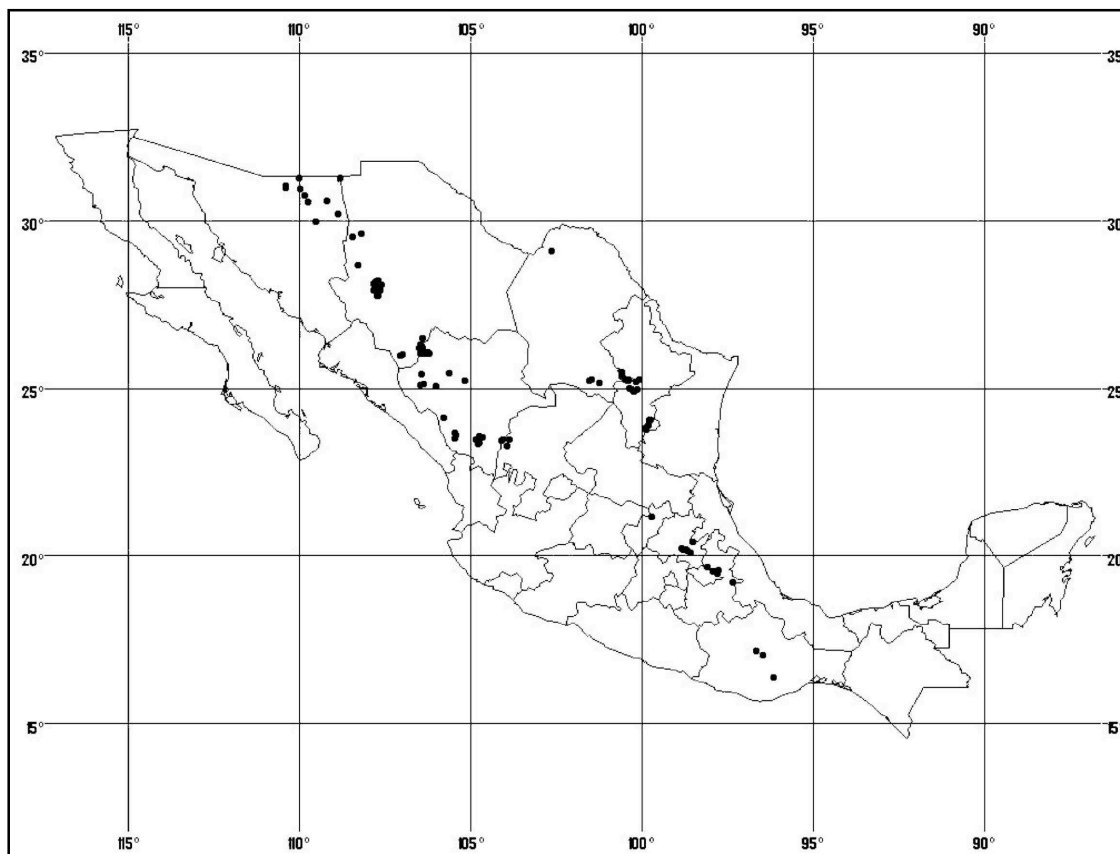


Figura 2.7. Distribución natural de *Pseudotsugamenziesii*

(según archivos de exploración y datos de colecta de Domínguez, Vargas y López, 2007; Colegio de Postgraduados).

En el centro del país *P. menziesii*, se distribuye en los estados de Hidalgo, Puebla y Tlaxcala. En Hidalgo se encuentra en los municipios de Mineral del Chico, Pachuca, Mineral del Monte, Omitlán de Juárez y Singuilucan; en el estado de Tlaxcala en los municipios de Tlaxco, Emiliano Zapata, Terrenate y Altzayanca; y en Puebla en Ixtacamaxtitlán y Tlachichuca.

Se desconoce la superficie total que ocupa la especie en nuestro país, especialmente en aquellas entidades que poseen mayor superficie (Chihuahua y Durango); sólo se conoce la superficie de algunas poblaciones en el norte y centro-sur, en donde se han efectuado estudios para determinar el tamaño y estructura de los rodales (Acevedo, 1998; Domínguez, 1994; Del Castillo *et al.*, 2004; Domínguez *et al.*, 2004; Torres, 2006; Martínez *et al.*, 2007; Velasco *et al.*, 2007). En la búsqueda de semilla para estudios de investigación realizados por el Colegio de Postgraduados se han encontrado otras

localidades naturales de *Pseudotsuga*, particularmente en la zona centro de México (Martínez *et al.*, 2007; Velasco *et al.*, 2007; Mápula *et al.*, 2008).

### **2.3 Protección legal de *Pseudotsuga menziesii* en México**

A pesar de la reciente clarificación taxonómica de *Pseudotsuga*, la Norma Oficial Mexicana (NOM-059-ECOL-2001) reconoce las cuatro especies indicadas por Martínez (1963): *Pseudotsuga macrolepis*, *P. rehderi*, *P. flahualti* y *P. guineri*, en la lista de especies que requieren protección especial. Bajo esta norma, la SEMARNAT limita el aprovechamiento legal de *Pseudotsuga*, no autorizando su corta en los Programas de Manejo Forestal, salvo que el arbolado se encuentre muerto en pie o plagado.

Sin embargo, dichas acciones no han sido suficientes para una adecuada conservación de la especie ya que en los estados de Hidalgo, Tlaxcala y Puebla, donde las poblaciones son de tamaño reducido y la presión antropogénica es alta, la repoblación natural es baja lo cual limita el desarrollo natural de las poblaciones y pone en riesgo su permanencia.

### 3. CARACTERIZACIÓN DE *Pseudotsuga menziesii* EN LA ZONA CENTRO DE MÉXICO

#### RESUMEN

Con el propósito de describir las condiciones ecológicas en las que se desarrolla *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco en la zona centro de México, se ubicaron 29 poblaciones en los estados de Hidalgo, Tlaxcala y Puebla, con un estimado de 9,029 árboles adultos, en un total de 682 ha que se ubican desde 2,450 a 3,400 m s.n.m. Las localidades donde se ubica la especie son de un clima templado, con temperatura media anual que oscila de 10.1 a 14.0 °C, y precipitación media anual de 611 a 1,109 mm. *Pseudotsuga* convive con *Abies religiosa* (Kunth) Schlttdl. et Cham. y con varias especies de *Pinus* y *Quercus*, en exposiciones N, NO y NE. Crece sobre suelos con pH ligeramente ácidos, ricos en materia orgánica y clase textural franco-arenosa o franca. El tamaño poblacional varía de 4 a 1,450 árboles; 11 de las poblaciones presentan menos de 100 árboles adultos. Hay poca repoblación natural en todas ellas. Existe gran fragmentación en su distribución natural. Con base en un análisis de agrupamiento se detecta similitud entre las poblaciones del estado de Hidalgo (Zona I) y entre las poblaciones del estado de Tlaxcala y Puebla (Zona II); cada zona tiene seis grupos de poblaciones. Se recomienda intercambiar material genético dentro de grupos y ocasionalmente entre grupos para restablecer el flujo génico entre poblaciones y propiciar mayor variabilidad genética. Se discuten algunos aspectos clave para su conservación.

**Palabras clave:** pinabete, abeto Douglas, caracterización ecológica, conservación, agrupamiento de poblaciones, movimiento de semillas.

## ABSTRACT

Aiming to describe the ecological conditions under which *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco grows in central Mexico, 29 populations located in the states of Hidalgo, Tlaxcala and Puebla, with a total estimate of 9,029 Douglas-fir adult trees growing in an area of 682 hectares, were sampled. The populations were found at altitudes varying from 2,450 to 3,400 m, in temperate climate, with mean annual temperature ranging from 10.1 to 14.0 °C and average annual rainfall from 611 to 1,109 mm. *Pseudotsuga* grows in mixed stands with *Abies religiosa* (Kunth) Schltdl. et Cham. and several species of *Pinus* and *Quercus*, in N, NW and NE aspects. Soils are slightly acidic in pH, rich in organic matter and loamy-sandy or loamy texture. Population size varies from 4 to 1,450 mature trees; 11 populations have less than 100 adult trees. There is little natural regeneration in all of them. There is great fragmentation within their natural range. Based on a cluster analysis similarities between populations from Hidalgo (Zone I) and between locations of Tlaxcala and Puebla (Zone II) were detected; each zone has six groups of populations. It is recommended to exchange genetic material within groups, and occasionally between groups, to restore the gene flow between populations and increase genetic diversity. We discuss some key issues for their conservation.

**Key words:** Douglas-fir, ecological characterization, conservation, clustering of populations, seed movement.

### 3.1 INTRODUCCIÓN

En los ecosistemas forestales de México habitan más del 10% de las especies de plantas y animales del planeta (CONABIO, 1998) entre los que existe un alto porcentaje de endemismos. Por ejemplo, en México crece casi el 50% de las 96 especies de pinos registradas en el mundo, 21 de las cuales son endémicas (Styles, 1993) y la situación es muy similar con otras coníferas (Martínez, 1963). Un caso especial de las coníferas es *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco que, aunque abundante e importante en el oeste de EE.UU. y Canadá, es escasa en nuestro país, al grado que ha sido incorporada en la lista de especies que requieren protección especial (DOF, 2002). En la Norma Oficial Mexicana 059 (NOM-059-SEMARNAT-2001) se establecen ciertas medidas para la conservación del género *Pseudotsuga*, que básicamente prohíben su aprovechamiento comercial (DOF, 2002).

En México las poblaciones de *Pseudotsuga* se encuentran fragmentadas, encontrándose rodales o manchones aislados, frecuentemente mezclados y dominados por otras especies (Rzedowski, 1978; Del Castillo *et al.*, 2004; Domínguez, *et al.*, 2004). La distribución natural de este árbol en nuestro país es amplia, ya que incluye la porción norte de la sierra Madre Occidental, en los estados de Chihuahua, Durango, Sonora y Zacatecas, donde ocupa la mayor extensión de su área natural; y en la sierra Madre Oriental en los estados de Nuevo León, Coahuila y Tamaulipas. Además, se encuentra esporádicamente en la región centro del país, en la parte oriental del Eje Neovolcánico (Domínguez, 1986). En el estado de Oaxaca se localizan dos poblaciones, una en la sierra Norte (Debreczy y Rácz, 1995) y otra en la sierra Madre del Sur (Del Castillo *et al.*, 2004).

Las poblaciones naturales de *Pseudotsuga* en la zona centro de México se encuentran alteradas por diversos factores, como el cambio de uso de suelo, el sobrepastoreo, las cortas clandestinas, la colecta inapropiada de semilla, la corta de árboles para elaboración de madera y árboles de navidad y por plagas que reducen la cuantía de conos y semillas, lo que amenaza la perpetuación de esta conífera (Torres, 2006; Mápula *et al.*, 2007; Velasco *et al.*, 2007). El riesgo es más evidente en el centro del país por la alta densidad poblacional y la fragmentación de áreas forestales, donde se desarrolla dicha conífera.



Los árboles de *Pseudotsuga* producen madera de buena calidad (Sanhueza, 1998); además, son demandados en la época navideña para usarse como ornato en los hogares mexicanos. Durante 2006 y 2007 se importó cada año, un millón 200 mil árboles de navidad aproximadamente, provenientes de Estados Unidos y Canadá, la mayoría de *Pseudotsuga menziesii* (CONAFOR, 2007). Dicha especie ha despertado interés en los plantadores del centro del país, por sus características morfológicas y por la permanencia de sus hojas una vez cortado el árbol (Álvarez *et al.*, 2008), además del gran potencial comercial que visualizan dada la cercanía del área potencial de propagación a grandes mercados de consumo como el de la Cd. de México y ciudades vecinas. Desafortunadamente, por razones diversas se colecta semilla de manera inapropiada ocasionando daños a las poblaciones de dicha especie, que de por si tienen problemas en la producción de semilla y en el reclutamiento de nuevos individuos (Mápula *et al.*, 2007; Velasco *et al.*, 2007). Más aún, se ha determinado que las poblaciones del centro de México tienen poca variabilidad genética debido a los efectos de depresión endogámica, por lo que se ha sugerido propiciar el intercambio genético (movimiento de polen) entre estas poblaciones (Cruz *et al.*, 2008). La introducción de plantas producidas en vivero de otras poblaciones puede ser útil para aumentar la diversidad genética y promover la polinización cruzada entre los individuos, pero debe realizarse entre poblaciones que presenten condiciones ambientales similares, ya que se han detectado diferencias entre poblaciones de la especie en las características adaptativas (Acevedo *et al.*, 2006; Reyes *et al.*, 2006; 2007).

Ante esta problemática es importante implementar actividades que prioricen la conservación de los rodales de la especie en su hábitat natural, mismas que pueden variar según la condición específica de cada población. No obstante, para que la conservación de esta conífera sea posible, incluido el componente genético y el fomento para su posible uso legal, es necesario conocer cuanto existe, donde se ubica, y bajo qué condiciones ambientales se desarrolla cada población y determinar la similitud entre éstas, asumiendo que poblaciones ambientalmente afines, debieran propiciar características adaptativas similares entre los individuos.

En la presente investigación se plantea determinar la distribución precisa de *P. menziesii* en la zona centro de México, así como la caracterización ambiental y la agrupación por similitud de sus poblaciones, con el fin de establecer una propuesta de movimiento de germoplasma entre ellas.

## 3.2. MATERIALES Y MÉTODOS

### 3.2.1 Ubicación y delimitación de las poblaciones de *Pseudotsuga menziesii*

El trabajo se realizó en el área que comprende la distribución natural de *P. menziesii* en la zona centro de México, en los estados de Hidalgo, Tlaxcala y Puebla, entre los 19° 10' y los 20° 12' L. N. y entre los 97° 20' y 98° 47' de L. O. (Figura 3.1). Para determinar la distribución se usó información bibliográfica, de herbarios, de la consulta a profesionistas, técnicos forestales y propietarios, corroborando la ubicación y la delimitación de las poblaciones de pinabete mediante recorridos de campo. Con la ayuda de un receptor GPS (Sistema de Posicionamiento Global) se registraron las coordenadas geográficas de los vértices del polígono de cada población, en la proyección UTM y Datum NAD27. Los datos se transformaron a formato digital y posteriormente se elaboró un mapa de distribución de las poblaciones, mediante el Sistema de Información Geográfica (SIG) ArcView 8x. Se usaron las siguientes cartas topográficas: Pachuca (F14D81), Tulancingo (F14D82), Tlaxco (E14B23), Mexcaltepec (E14B24), Huamantla (E14B34) y Coscomatepec (E14B46), todas elaboradas por el INEGI a escala 1:50, 000.

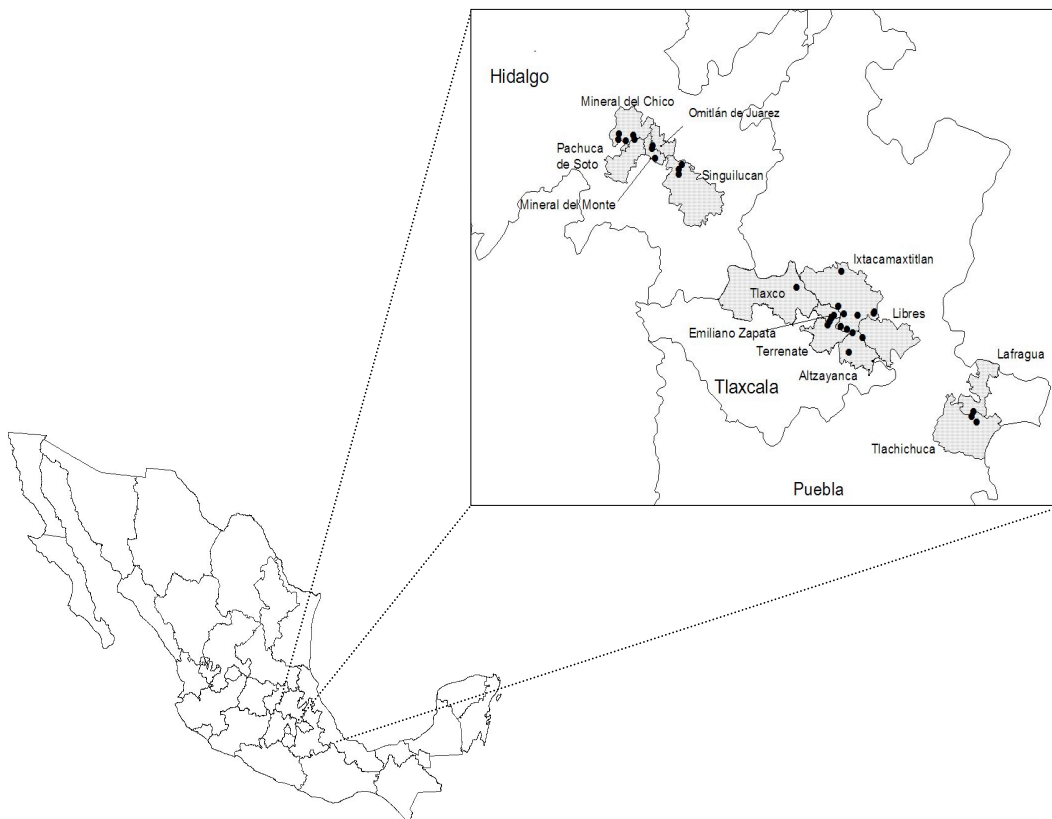


Figura 3.1. Ubicación de los municipios donde se desarrolla *Pseudotsuga menziesii* en los estados de Hidalgo, Tlaxcala y Puebla en la zona centro de México.

### 3.2.2. Caracterización ecológica de las poblaciones de *Pseudotsuga menziesii*

Se realizaron recorridos de campo en cada una de las poblaciones para verificar su situación actual y recopilar información para su caracterización, misma que se complementó con información bibliográfica. El tipo de clima se determinó de las cartas climáticas 1:250,000 (INEGI, 1988), basadas en la clasificación de Köppen modificada por García (1973). Para cada población se obtuvo la temperatura media anual, la precipitación total anual, y un índice de aridez (el cociente de dividir la sumatoria a través del año de la temperatura que ocurre diariamente arriba de 5 °C entre la precipitación total (Rehfeldt, 2006; Sáenz *et al.*, 2006), a partir de un modelo climático basado en superficies de interpolación conocidas como "thin plate splines", desarrolladas previamente con el programa ANUSPLIN versión 4.3 (Hutchinson, 2004).

En cada población se colectaron tres muestras de suelo a una profundidad de 15-30 cm (1 kg de suelo por muestra), las que se tamizaron para su análisis en laboratorio. El pH se determinó en solución acuosa 1:2; la textura mediante el método de Bouyucos; la densidad aparente (Dap) mediante el método del terrón parafinado; la materia orgánica (MO) mediante el método Walkey y el color en húmedo y seco usando la tabla de Colores Munsell (Munsell, 1990). Los análisis de suelo se realizaron en el laboratorio de Génesis del Postgrado de Edafología del Colegio de Postgraduados, basados en la NOM-021-RECNAT-2000 y el manual de procedimientos para análisis de suelos de van Reeuwijk (1999).

En cada población se establecieron tres sitios circulares de muestreo de 1,000 m<sup>2</sup> por el método de muestreo simple aleatorio, realizando transectos de forma equidistante según el tamaño de la población. Se determinó el tipo de vegetación presente y las especies arbóreas asociadas, se estimó el número de individuos maduros de *P. menziesii* de cada población (tamaño de población) y se registró de manera visual la presencia de repoblación natural. Los árboles que presentaron conos o indicios de eventos reproductivos anteriores, independientemente de sus dimensiones, fueron considerados como maduros. Se obtuvo la densidad media de los árboles maduros de *Pseudotsuga* y con la superficie que se determinó con el SIG se estimó el tamaño poblacional. En las poblaciones pequeñas se realizó un censo poblacional. Se determinó la altitud con apoyo de un altímetro, la exposición del terreno y el porcentaje de pendiente con auxilio de una brújula azimutal.

### 3.2.3. Agrupación de las poblaciones

Para encontrar similitudes ambientales entre poblaciones se utilizaron sólo las variables que pudieran estar asociadas a la capacidad adaptativa de cada población. En el análisis se incluyeron las variables de ubicación geográfica (latitud y longitud) para evitar proponer movimientos de germoplasma muy lejanos (propuesta conservadora). En total se obtuvieron valores para cada población para 14 variables geográficas y biofísicas: latitud, longitud, altitud, temperatura media anual, precipitación media anual, tipo de clima, índice de aridez, principal especie o género arbóreo asociado, tipo de suelo, pH, materia orgánica, densidad aparente, color y textura del suelo. Se incluyó la principal especie asociada por considerar que está pudiera ser indicadora más precisa de ambientes diferentes (Hernández *et al.*, 2007). Primero se realizó un análisis de correlación lineal simple entre estas variables. Aquellas variables que resultaron con correlaciones altas y significativas ( $<-0.75$  ó  $>0.75$ ), y además lo realizaron de manera repetida, se excluyeron con la finalidad de eliminar efectos de colinealidad. En la medida que dos o más variables presenten una correlación alta, estas darán alta ponderación a ellas mismas y tenderán a dominar en el análisis de agrupamiento, lo que debe evitarse (Sneath y Sokal, 1973).

De esta forma, y con el fin de determinar cuáles poblaciones poseen similitudes se realizó un análisis de agrupamiento con siete variables geográficas y biofísicas: latitud, longitud, tipo de clima, índice de aridez, tipo de vegetación, pH y textura del suelo. Se utilizó el procedimiento CLUSTER (SAS Institute, 1998) con estandarización por media cero, desviación estándar igual a uno, y el método de ligamiento promedio (opción STD y método AVERAGE), y se graficó el agrupamiento con el procedimiento TREE.

### 3.3. RESULTADOS

#### 3.3.1. Ubicación y delimitación de las poblaciones de *Pseudotsuga menziesii*

Por medio de recorridos de campo y con información recopilada a través de estudios anteriores en la zona de estudio, se encontró que existen un total de 29 poblaciones de *P. menziesii* distribuidas de manera irregular y dispersa en los estados de Hidalgo, Tlaxcala y Puebla, ubicados en 12 municipios (Cuadro 3.1, Figura 3.2). En el estado de Hidalgo, en los municipios de Mineral del Chico, Omitlán de Juárez, Mineral del Monte, Pachuca y Singuilucan; en el estado de Tlaxcala, en los municipios de Tlaxco, Emiliano Zapata, Terrenate y Alzayanca; y en el estado de Puebla, en los municipios de Ixtacamaxitlán, Lafragua y Tlachichuca. Dichas poblaciones se ubican entre los paralelos 19° 10' 05" y los 20° 12' 45" de latitud norte y entre los meridianos 97° 18' 00" y 98° 47' 15" de longitud oeste; con un intervalo altitudinal de 2,400 a 3,400 m y con un promedio de 2,800 m.

La población de *Pseudotsuga* localizada a mayor altitud es la de Plan del Baile a 3,400 m y la de menor altitud es la de Vicente Guerrero, con individuos a 2,450 m. La localidad ubicada más al norte es la de Capula en el municipio de Mineral del Chico, Hgo., y la que se distribuye más al sur es la de Plan del Baile en el municipio de Tlachichuca, Pue., respectivamente. Esta última se localiza más al este y San José Capulines se localiza más al oeste (seguida por Capula).

Se encontró que el área total que cubre *P. menziesii* en las 29 poblaciones estudiadas es de aproximadamente 682 hectáreas (un promedio de 23 ha por población). La población de mayor extensión es la de Villareal en el estado de Tlaxcala, con 78 ha, que representa el 11.4% del total, en tanto que la de menor superficie es la de Morán en el estado de Hidalgo, con apenas 0.5 ha (Cuadro 3.1). Es evidente que las poblaciones de *Pseudotsuga* de la zona centro de México tienen una extensión reducida y se encuentran fragmentadas e incluso aisladas entre sí. No se tiene información precisa de la extensión que ocupa esta conífera en el norte de México, aunque en Estados Unidos de América se reportaron en el año 1990, 14 millones de hectáreas y en Canadá 4.5 millones de hectáreas (Herman y Lavender, 1990).

Cuadro 3.1. Ubicación geográfica y superficie aproximada de las poblaciones de *Pseudotsuga menziesii* en la zona de estudio.

<b>Población</b>	<b>Municipio, Estado</b>	<b>Latitud<sup>1</sup></b>	<b>Longitud<sup>1</sup></b>	<b>Superficie (ha)<sup>2</sup></b>
1. Capula	Mineral del Chico, Hgo.	20° 12' 45"	98° 47' 15"	15.0
2. Las Antenas	Mineral del Chico, Hgo.	20° 11' 39"	98° 44' 19"	4.0
3. San José Capulines	Mineral del Chico, Hgo.	20° 10' 50"	98° 47' 49"	32.4
4. Estanzuela	Pachuca, Hgo.	20° 10' 31"	98° 46' 05"	9.5
5. Presa Jaramillo	Mineral del Chico, Hgo.	20° 10' 18"	98° 44' 00"	22.4
6. Vicente Guerrero	Omitlán de Juárez, Hgo.	20° 09' 28"	98° 39' 28"	5.6
7. Morán	Mineral del Monte, Hgo.	20° 08' 50"	98° 39' 40"	0.5
8. Peñas cargadas	Mineral del Monte, Hgo.	20° 06' 47"	98° 38' 44"	22.0
9. Cuyamaloya	Singuilucan, Hgo.	20° 05' 23"	98° 32' 04"	3.4
10. El Salto	Singuilucan, Hgo.	20° 04' 17"	98° 32' 50"	7.0
11. Cañada El Atajo	Singuilucan, Hgo.	20° 03' 20"	98° 32' 53"	5.4
12. Tlaxco	Tlaxco, Tlax.	19° 39' 00"	98° 03' 11"	48.5
13. Villarreal	Terrenate, Tlax.	19° 33' 24"	97° 54' 30"	78.0
14. Zapata	Emiliano Zapata, Tlax.	19° 32' 49"	97° 56' 31"	52.1
15. La Rosa	Terrenate, Tlax.	19° 31' 57"	97° 55' 03"	31.4
16. San Juan	Terrenate, Tlax.	19° 30' 58"	97° 55' 16"	12.3
17. Axopilco	Altzayanca, Tlax.	19° 27' 42"	97° 46' 20"	7.5
18. Buenavista	Altzayanca, Tlax.	19° 25' 02"	97° 50' 04"	45.0
19. Cruz de Ocote	Ixtacamaxtitlán, Pue.	19° 42' 24"	97° 51' 47"	18.4
20. El Llanete	Ixtacamaxtitlán, Pue.	19° 34' 58"	97° 52' 42"	28.6
21. Minatitlán	Ixtacamaxtitlán, Pue.	19° 33' 19"	97° 51' 14"	12.7
22. Tlalmotolo	Ixtacamaxtitlán, Pue.	19° 32' 59"	97° 43' 51"	40.5
23. Tonalapa	Ixtacamaxtitlán, Pue.	19° 32' 55"	97° 47' 47"	36.7
24. Cuatexmola	Ixtacamaxtitlán, Pue.	19° 30' 22"	97° 50' 21"	14.2
25. La Caldera	Ixtacamaxtitlán, Pue.	19° 30' 21"	97° 52' 10"	20.9
26. La Garita	Ixtacamaxtitlán, Pue.	19° 29' 10"	97° 49' 00"	3.6
27. Apizaquito	Tlachichuca, Pue.	19° 10' 12"	97° 20' 41"	18.5
28. Barranca Canoita	Lafragua, Pue.	19° 10' 57"	97° 19' 07"	13.3
29. Plan del Baile	Tlachichuca, Pue.	19° 10' 11"	97° 18' 00"	72.3

<sup>1</sup>Datos obtenidos en la parte central de la población. <sup>2</sup> Estimadas mediante ArcView 8x en mapas de escala 1:50,000.

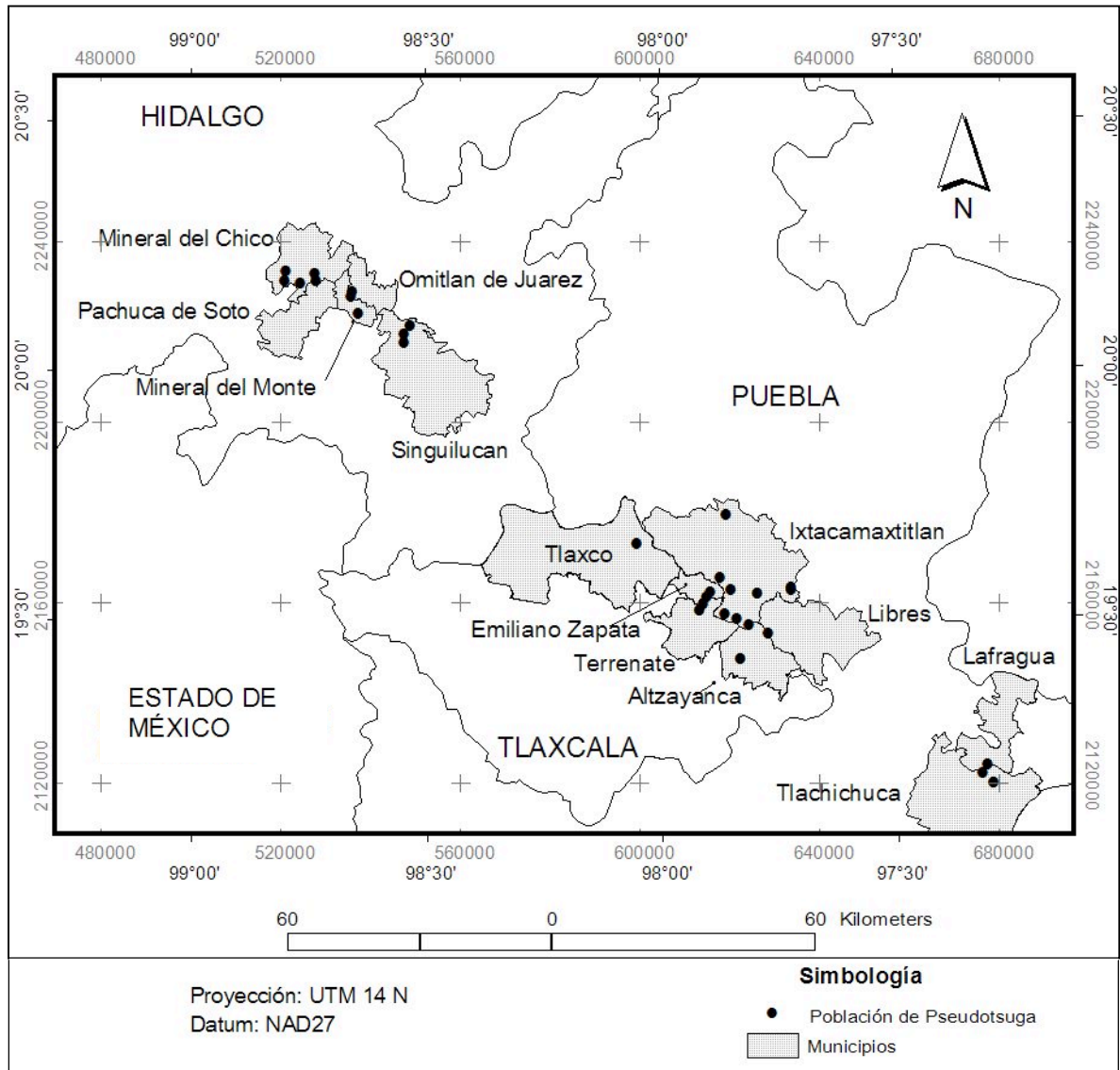


Figura 3.2. Ubicación geográfica de las poblaciones de *Pseudotsuga menziesii* en los estados de Hidalgo, Tlaxcala y Puebla.

### 3.3.2. Descripción de las poblaciones de *Pseudotsuga menziesii* en la zona centro de México

**Capula.** Rodal ubicado en las coordenadas 20° 12' 45" L.N., y 98° 47' 15" L.O., a una altitud de 2,760 m. El poblado más cercano es Capula, a 1.9 km, pertenece al municipio de Mineral del Chico, Hgo., y el régimen de propiedad es ejidal. El acceso al rodal es desde la ciudad de Pachuca, de donde se debe conducir hacia el oeste (cruzar la Universidad de Fútbol) dirigirse hacia el poblado de Benito Juárez, subir con dirección noreste por 7 km hasta el poblado de San José Capulines; de ahí continuar por terracería hasta llegar al poblado de Capula, y luego desviarse al paraje Cerro del Piñón; en la parte sureste del cerro se desarrolla *Pseudotsuga menziesii*.

El tipo de clima es C(m), templado, húmedo, con régimen de lluvias en verano y un porcentaje de lluvia invernal del 5 al 10.2% del total anual. La precipitación media anual es de 688 mm, con una temperatura media anual de 13.0 °C y un índice de aridez de 4.2. El suelo que se encuentra en este sitio es Regosol dístico, con pH de 6.8, clase textural franca y 6.7% de materia orgánica. El tipo de vegetación predominante es Bosque de encino, con vegetación secundaria. La población de *Pseudotsuga* cubre 15 ha, integrada por un total de 460 árboles adultos, los cuales se encuentran asociados en el estrato arbóreo con las siguientes especies: *Quercus affinis*, *Q. laurina*, *Q. rugosa*, *Abies religiosa* y *Litsea glaucescens*; la especie dominante es *P. menziesii*, aunque la repoblación natural es escasa. Los ejemplares de *Pseudotsuga* se desarrollan sobre un lomerío en exposición sureste mayormente, y con una pendiente que oscila entre 60-75%.

Actualmente, existe un Programa de Manejo Forestal para el rodal de Capula, y los ejidatarios son los encargados de la conservación del bosque. A pesar de la vigilancia que dan al bosque, existen daños causados por descuidos de los pobladores, que ocasionan incendios forestales de tipo superficial; además, se practica el pastoreo de ovinos, lo cual perjudica el buen establecimiento de las plántulas dentro del bosque. Aunque no se permite el aprovechamiento de ningún ejemplar de *Pseudotsuga*, se indica que las principales causas de la desaparición de esta especie han sido la sequía edáfica y las plagas, principalmente de conos. A pesar de que los ejidatarios se muestran interesados en la conservación de la conífera, sus esfuerzos no han sido suficientes ya que la tala clandestina que prevalece ha disminuido las áreas boscosas.



**Las Antenas.** Se ubica en las coordenadas 20° 11' 39" L.N y 98° 44' 19" L.O., a una altitud de 2,900 m. El poblado más cercano a este rodal es Mineral del Chico, a 2.6 km; pertenece al municipio de Mineral del Chico, Hgo., y el tipo de propiedad es privada. El acceso al rodal de *Pseudotsuga* es tomando la carretera que va de la ciudad de Pachuca al poblado de Mineral del Chico, en el km 12.5 pasando una antena de comunicación. La carretera cruza por la parte inferior del rodal, la que se extiende hacia el este desde la carretera.

El clima que domina en este sitio es el C(w2), templado, el más húmedo de los subhúmedos con régimen de lluvias en verano y un porcentaje de precipitación invernal del 5 al 10.2% del total anual. La precipitación media anual es de 763 mm, con temperatura media anual de 11.9 °C y un índice de aridez de 3.3. El suelo presente corresponde a Cambisol húmico, con pH de 5.6, clase textural franca y 7.2% de materia orgánica. La vegetación presente es Bosque de oyamel, donde las principales especies asociadas a *P. menziesii* son *Abies religiosa* y *Quercus* spp. El rodal de *Pseudotsuga* es pequeño ya que cuenta con una superficie de 4 ha, donde se desarrollan 25 árboles adultos, los cuales son árboles de porte bajo y copa estrecha, de 30 cm de diámetro normal promedio; se desarrollan sobre una pendiente que oscila de 70-80% y en exposición oeste. El arbolado es medianamente dominado por *Pseudotsuga* y la repoblación natural es nula.

Aunque pertenece al Área Natural Protegida del "Parque Nacional El Chico", en los recorridos de campo se observaron árboles de *Pseudotsuga* muertos en pie (5 árboles) y el área se encuentra perturbada por el paso de un incendio. No existen evidencias de plagas actuales de insectos u otros agentes patógenos atacando al arbolado, ni se encontró evidencia de pastoreo ni tala clandestina.

**San José Capulines.** Se localiza en las coordenadas 20° 10' 50" L.N., y 98° 47' 49" L.O., a una altitud de 2,850 m. Esta población comprende 10 rodales de diferentes tamaños, que han sido separados por desmontes o bien la dominancia de otras especies arbóreas (Figura 3.3). El poblado más cercano es San José Capulines, a 1.5 km; se ubica en el municipio de Mineral del Chico y el régimen de propiedad es ejidal. El acceso a esta población es desde la ciudad de Pachuca, de donde debe dirigirse hacia el oeste y tomar la carretera que conduce hacia la Universidad del Fútbol, cruzar y dirigirse hacia el poblado de Benito Juárez, subir con dirección noreste por 7 km hasta el poblado de San José Capulines; antes de llegar al poblado se observan algunos manchones de *Pseudotsuga* a la derecha con dirección noreste del camino; para tener acceso a los otros manchones es necesario llegar al

núcleo poblacional de San José Capulines y tomar la terracería secundaria por 1.5 km hasta la peña de La Barbacoa.

El clima en este rodal es C(w1), templado, subhúmedo, con régimen de lluvias en verano y un porcentaje de precipitación invernal del 5 al 10.2% del total anual, con una precipitación media anual de 743 mm, temperatura media anual de 12.2 y un índice de aridez de 3.6. El suelo que predomina en este sitio es Regosol dístico, con pH de 5.5, clase textural franco arenosa, y 50% de materia orgánica. El tipo de vegetación en este sitio es Bosque de encino con vegetación secundaria.



**Figura 3.3.** Rodal de *Pseudotsuga menziesii* en San José Capulines, Hgo.

El bosque de *Pseudotsuga* se ubica en 10 manchones de corta extensión, integrando 32.4 ha, donde dominan especies del género *Quercus* en la mayor parte del rodal, aunque a una altitud mayor domina *Abies religiosa*. En general el arbolado lo conforman individuos jóvenes, maduros y sobremaduros en menor cantidad, integrado de aproximadamente 1,450 individuos adultos cuyo diámetro normal oscila entre 20-60 cm, con una exposición noroeste mayormente, aunque también se presentan en exposición noreste y suroeste; con pendientes que oscilan de 60-75%. La repoblación natural de *Pseudotsuga* es escasa.

Aunque no existe Programa de Manejo Forestal, se han establecido reglas de uso del bosque, tales como no cortar árboles verdes, no ingresar al bosque sin permiso de las autoridades, no quemar ni talar árboles, no pastorear ningún tipo de ganado y no extraer árboles con fines maderables. En este lugar los ejidatarios trabajan en conjunto con PROFEPA y SEMARNAT del estado de Hidalgo, ya que visitan el área muy a menudo para tener mejor control de la conservación del bosque. A pesar de todos

los esfuerzos que se realizan se menciona que la tala inmoderada es alta, ya que personas ajenas al ejido hacen uso de este recurso de manera clandestina.

Durante los recorridos de campo se observaron daños antropogénicos ya que se practica el pastoreo caprino y ovino, sobre todo en la parte superior (mayor altitud) de la población, lo cual perjudica la repoblación de las especies que aquí se desarrollan. Además de la tala clandestina que es frecuente en este lugar, también se observó que la presión por el cambio de uso de suelo hacia actividades agrícolas y pecuarias es latente en esta población y se han realizado colectas de conos para una empresa con fines comerciales.

**Estanzuela.** Rodal ubicado en las coordenadas 20° 10' 31" de L.N., y 98° 46' 05" de L.O., a una altitud de 2,650 m. El poblado más cercano a este rodal es La Estanzuela, a 0.86 km; pertenece al municipio de Pachuca, Hgo., y el tipo de tenencia de la tierra es propiedad privada. El acceso es partiendo de las instalaciones del Parque Nacional El Chico, por carretera pavimentada, hacia el norte y posteriormente al sur, pasar el pueblo y aquí preguntar por la propiedad de la familia Oviedo, la que se ubica inicialmente por un camino de concreto y luego de terracería que sube hacia el oeste, aproximadamente a 1 km, sitio donde se observan los individuos de *Pseudotsuga*.

El tipo de clima es C(w1), templado, subhúmedo con régimen de lluvias en verano y un porcentaje de precipitación invernal del 5 al 10.2% del total anual; la precipitación media anual es de 638 mm, con temperatura media anual de 13.6 °C y un índice de aridez de 4.9. El suelo que encontramos en este sitio es Feozem háplico, con pH de 6.1, clase textural franco arenosa y 5% de materia orgánica. El tipo de vegetación que predomina es Bosque de encino y los individuos de pinabete son de porte bajo y diámetros normales pequeños, área basal pequeña y copa estrecha. Se asocia con *Quercus*, *Abies religiosa*, *Juniperus* y *Arbutus xalapensis*. Este rodal es pequeño, con una superficie de apenas 9.5 ha, integrado por una población de 460 árboles maduros de *P. menziesii*, con 100 juveniles o renuevos, en buena condición. Son árboles de 15 m de altura y 25 cm de diámetro normal promedio. El arbolado se encuentra en exposición norte, menormente en exposición este y sobre una pendiente que oscila entre 65-75%. La repoblación de *Pseudotsuga* es buena.

Cuenta con Programa de Manejo Forestal, en donde se han establecido reglas adecuadas para la conservación del arbolado, sobre todo de *Pseudotsuga*. El propietario ha notado en los últimos cinco años la disminución de ejemplares de pinabete en su predio, debido a los aprovechamientos clandestinos como la extracción de leña, la extracción y saqueo de árboles jóvenes en épocas decembrinas. Aunque el principal uso que se da al bosque es el doméstico, el propietario extrae algunos árboles jóvenes en diciembre, con fines de comercializarlos como árboles de navidad. Aunque presenta interés en la conservación del área, se le dificulta ya que no posee las herramientas necesarias para realizar labores de mantenimiento. Durante los recorridos de campo se observó cierto grado de perturbación por áreas erosionadas, pero no se observó la presencia de plagas atacando al arbolado, ni se encontró evidencia de ataques recientes.

**Presa Jaramillo.** Se localiza a 1.5 km al norte del poblado San Miguel El Cerezo, en las coordenadas 20° 10' 18" de L.N., y 98° 44' 00" de L.O., a una altitud de 2,850 m. Esta población pertenece al municipio de Mineral del Chico, Hgo., y el tipo de tenencia de la tierra es comunal. El acceso es a través del Valle de los Enamorados en el Parque Nacional El Chico; de ahí tomar la terracería por 1.5 km al oeste, hacia la presa Jaramillo.

El clima es C(w2) templado, el más húmedo de los subhúmedos con régimen de lluvias en verano y un porcentaje de precipitación invernal del 5 al 10.2% del total anual. La precipitación media anual es de 715 mm, la temperatura media anual de 12.4 °C y un índice de aridez de 3.8. El suelo que encontramos es Cambisol húmico, con pH de 5.8, una clase textural franco arenosa y 11.9% de materia orgánica. El tipo de vegetación es Bosque de oyamel, y las especies asociadas a *P. menziesii* son *Abies religiosa*, *Arbutus* sp., *Juniperus monticola*, *Pinus rudis*, *P. teocote*, *P. patula*, *Quercus mexicana* y *Q. rugosa*; aunque *P. menziesii* se presenta como especie dominante, sobre todo en la parte poniente de la población donde es más abundante. La población de *Pseudotsuga* se desarrolla en una superficie de 22.4 ha y consta aproximadamente de 450 individuos adultos (Figura 3.4), que se desarrollan principalmente en el lado este, alrededor de la presa Jaramillo, con exposición noreste y sobre una pendiente que oscila de 65 a 75%. Las dimensiones máximas que se han observado para los árboles en este sitio son 20 m de altura y 60 cm de diámetro normal y la presencia de renuevos es escasa.

No existe Programa de Manejo Forestal para el predio, aunque el personal del Parque Nacional El Chico cuida de esta área. En realidad los daños que sufren los individuos de pinabete son ocasionados por incendios forestales, por la sequía edáfica y por la colecta inapropiada de germoplasma. El uso principal que se da a este bosque es el turístico, situación que pone en riesgo a *Pseudotsuga* debido a que no se tiene un control de los turistas, lo cual complica la preservación del rodal.



Figura 3.4. Rodal de *Pseudotsuga menziesii* en alrededores de la presa Jaramillo.

Los daños antropogénicos observados durante los recorridos de campo son: daño a ramas de árboles con fines de colecta de semilla (ramas cortadas), pastoreo ovino y actividades recreativas sin control y se considera que el bosque ha sufrido daños por los aprovechamientos que se realizan. No se observó la presencia de plagas actuales de insectos u otros agentes patógenos atacando al arbolado, ni se encontró evidencia de ataques recientes. Los comuneros dependen moderadamente del bosque ya que la principal actividad es la agricultura, hacen uso del bosque de manera parcial, sólo para uso doméstico y en algunas ocasiones se hacen colectas de semilla con fines de establecimiento de plantaciones comerciales. Se observó reforestación con *Pinus rudis*.

**Vicente Guerrero.** Se localiza en las inmediaciones del poblado de Vicente Guerrero, en las coordenadas 20° 09' 28" de L.N., y 98° 39' 28" de L.O., a una altitud de 2,450 m. El poblado más cercano a estos rodales es Vicente Guerrero, a sólo 0.15 km; pertenece al municipio de Omitlán de Juárez, Hgo., y el tipo de propiedad es privada. La vía de acceso al primer rodal es tomando el camino pavimentado que conduce de Real del Monte hacia el poblado de Vicente Guerrero; al llegar por el

Barrio Escobar se observan los pocos ejemplares aislados de la especie. En este rodal son 16 árboles adultos, localizados hacia la derecha del camino. El segundo rodal se localiza pasando el poblado de Vicente Guerrero, seguir por terracería junto a una tubería de agua, al este sobre un montículo hay siete árboles adultos.

El clima que domina en este sitio es C(w2) templado, el más húmedo de los subhúmedos con régimen de lluvias en verano y un porcentaje de precipitación invernal del 5 al 10.2% del total anual. La precipitación media anual es de 611 mm, con una temperatura media anual de 15.0 °C y un índice de aridez de 6.0. El suelo que prevalece es Luvisol vértico, con pH de 5.4, clase textural franco arenosa y 15.8% de materia orgánica. El tipo de vegetación que predomina es Bosque de encino y las especies asociadas a *Pseudotsuga menziesii* son *Quercus crassipes*, *Q. laurina*, *Q. rugosa*, *Abies religiosa*, *Arbutus xalapensis*, *Juniperus deppeana* var. *deppeana* en el primer rodal; en el segundo encontramos *Quercus laurina*, *Q. rugosa*, *Abies religiosa* y *Pinus teocote*.

El total de ejemplares que integran esta población es de 16 árboles adultos, en una superficie total de 5.6 ha. La repoblación de esta población es sumamente escasa, debido a que el pastoreo de ovinos y las múltiples veredas que existen dentro del rodal afectan la regeneración de la especie, además de la agricultura y construcciones aledañas al bosque. Los árboles se desarrollan en una exposición noroeste sobre una pendiente de 50-80% en el primer manchón; en el segundo se desarrollan en una pendiente de 60-80% con exposición noroeste.

La actividad principal en el ejido es la agricultura, no existe Programa de Manejo Forestal para el bosque lo cual dificulta la conservación de las especies que se desarrollan en el sitio. Sin embargo, se han establecido reglas por parte de los ejidatarios para la preservación del bosque, como solicitar permiso a las autoridades para hacer uso del bosque, no cortar árboles en exceso, no pastar ningún tipo de ganado, entre otras. Comentan los propietarios que debido a la tala inmoderada, el crecimiento demográfico y la frontera agrícola se ha ocasionado la desaparición parcial de las áreas donde *Pseudotsuga* crecía de manera natural. El uso principal que se hace del bosque es el doméstico, y únicamente para extracción de leña. Cabe mencionar que ya quedan pocos ejemplares de *Pseudotsuga* en esta población; de no tomarse medidas pertinentes de conservación en poco tiempo desaparecerán en su totalidad.

**Morán.** Se encuentra en las coordenadas 20° 08' 50" de L.N y 98° 39' 40" de L.O., a una altitud de 2,600 m. Pertenece al municipio de Mineral del Monte, Hgo., y el tipo de propiedad es privada. El acceso es por el camino pavimentado de Mineral del Monte a Vicente Guerrero, llegando hasta El Barrio Escobar; dar vuelta a la derecha (al este) antes de llegar al Hotel Real, por un camino que sube y que en su inicio es de concreto y a 0.7 km de recorrido tomar carretera de terracería a mano izquierda por 400 m hasta el rodal.

El clima en este sitio es C(w2) Templado, el más húmedo de los subhúmedos, con régimen de lluvias en verano y un porcentaje de precipitación invernal del 5 al 10.2% del total anual. La precipitación media anual es de 617 mm, con una temperatura media anual de 13.5 °C y un índice de aridez de 5.0. El tipo de suelo que predomina es Luvisol vértico, con pH de 5.9, clase textural franco arenosa y 8.8% de materia orgánica. El tipo de vegetación es Bosque de oyamel, y las especies asociadas a *P. menziesii* en el estrato arbóreo son *Abies religiosa*, *Arbutus xalapensis*, *Pinus teocote*, *Prunus capulli*, *Quercus crassipes*, *Q. laurina*, *Q. rugosa*, *Crataegus mexicana* y *Juniperus deppeana* var. *deppeana*. Los árboles se desarrollan en una exposición noroeste, con pendiente de 35-40%. La repoblación de *Pseudotsuga* es escasa.

Este rodal está conformado por tan sólo cuatro árboles adultos (50-70 cm de diámetro normal) y nueve renuevos (> 5 cm de diámetro normal), en una superficie de 0.5 ha. Esta población es importante ya que es la que la F. Flous (1943) asignó como la "población tipo" de la descripción que realizó de *Pseudotsuga macrolepis*. En la actualidad estos árboles está en peligro debido a que al propietario no le interesa la conservación de los árboles; fundamenta que ya le "otorgaron el permiso" para derribar los cuatro árboles que se desarrollan en su propiedad, porque discute están muy cerca de su vivienda.

El tipo de propiedad en esta población es privada y a pesar que el dueño se dedica por completo a la agricultura hace aprovechamiento de la semilla de los árboles adultos de *Pseudotsuga*. El propietario admite que el uso principal que da al bosque es el doméstico; considera que la actividad que ha propiciado la desaparición de *Pseudotsuga* es la extracción de madera para elaboración de muebles y asegura que ha disminuido parcialmente la superficie arbolada, a través de los años. Durante los recorridos de campo se apreciaron algunos daños a un individuo de la población, debido a la colecta de semillas y no se observó la presencia de plagas atacando al arbolado.

**Peñas Cargadas.** Se ubica en las coordenadas 20° 06' 47" L.N., y 98° 38' 44" L.O., a una altitud de 2,950 m. El poblado más cercano a este sitio es Tezoantla, a 2.9 km; pertenece al municipio de Mineral del Monte, Hgo., y el tipo de tenencia de la tierra es ejidal. Este rodal se localiza al este del poblado de Mineral del Monte; pasando el poblado de Tezoantla, tomar terracería hacia la derecha (existen señalamientos ya que es un área recreativa) en los alrededores de Peñas Cargadas, dentro del área que ocupa el ejido.

El tipo de clima es C(w1), templado, subhúmedo, con régimen de lluvias en verano y un porcentaje de precipitación invernal del 5 al 10.2% del total anual. La precipitación media anual es de 740 mm, con una temperatura media anual de 11.8 °C y un índice de aridez de 3.4. El tipo de suelo que predomina es Luvisol vértico, con un pH de 5.9, clase textural franco arenosa y 37% de materia orgánica. El Bosque de oyamel es la vegetación dominante y las especies asociadas a *Pseudotsuga* son *Abies religiosa*, *Quercus crassipes*, *Pinus teocote* y *Juniperus deppeana*. La población de pinabetes se integra por tres manchones, que en total son 525 árboles creciendo en 22 ha, los cuales presentan de 20 a 25 m de altura y un diámetro normal de hasta 80 cm; la repoblación natural es nula. Los árboles se desarrollan sobre una pendiente de 70-80% y con exposición noroeste.

El ejido es el encargado del aprovechamiento y conservación del bosque pero no cuenta con un Programa de Manejo Forestal. Aunque el uso principal que se da es el turístico, se realizan aprovechamientos con fines maderables. La falta de senderos turísticos definidos puede representar un problema para la repoblación natural de *Pseudotsuga* debido a que los visitantes tienen libre acceso a toda el área boscosa. Para preservar el bosque el ejido da mantenimiento al área. Con el fin de obtener mejores ingresos por el turismo, los ejidatarios comentan que se pretende establecer un Parque ecoturístico, situación que puede ser riesgosa para *Pseudotsuga* debido a que no se tiene un Programa de Ordenamiento Territorial, lo cual puede complicar la preservación del rodal.

Durante los recorridos de campo no se observó la presencia de plagas atacando al arbolado, ni se encontró evidencia de ataques recientes. Aunque existen aprovechamientos de árboles por el ejido, ya que se encontraron árboles cortados para madera, sobre todo de pino. No existe pastoreo ni agricultura cerca del área.



**Cuyamaloya.** Se localiza en las coordenadas 20° 05' 23" de L.N y 98° 32' 04" de L.O., a una altitud de 2,650 m. El poblado más cercano a este rodal es Matías Rodríguez, a una distancia de 5.4 km; pertenece al municipio de Singuilucan, Hgo., y el tipo de propiedad es ejidal. En la ciudad de Tulancingo tomar la carretera estatal a Pachuca; a la altura de Matías Rodríguez, seguir por terracería con dirección noreste, luego dirigirse hacia el norte por 2.5 km, se toma terracería de aprovechamientos que sube hasta el parteaguas y baja hasta un arroyo que se denomina Casas del Monte. Se debe buscar el contacto con los ejidatarios de Cuyamaloya ya que el acceso se encuentra protegido con una cadena.

El clima es C(w1) templado, subhúmedo con régimen de lluvias en verano y un porcentaje de precipitación invernal del 5 al 10.2% del total anual. La precipitación media anual es de 635 mm, con una temperatura media anual de 13.1 °C y un índice de aridez de 4.7. El suelo que predomina en este sitio es Litosol, con un pH de 5.6, clase textural franca y 12.4% de materia orgánica. El tipo de vegetación que domina en este rodal es Bosque de pino-encino; las especies asociadas a *P. menziesii* son *Pinus patula*, *P. teocote* y *Abies religiosa*, aunque el rodal se encuentra ahora dominado por *Quercus rugosa*, por la extracción de los pinos. La población de *Pseudotsuga* consta tan solo de 3.4 ha, con un total de 52 árboles adultos y la repoblación natural es nula. La exposición en la que se desarrollan es noroeste, con una pendiente de 50-70%. Junto al arroyo Casas del Monte se ubican aproximadamente 60 árboles de *Taxus globosa*, por lo que este sitio cobra mayor importancia en cuanto a la conservación de las especies en riesgo.

El predio cuenta con Programa de Manejo Forestal, el cual consta de un apartado que trata sobre la conservación del bosque, en el que se han tomado medidas como la creación de zonas de exclusión, sobre todo donde crece *P. menziesii*, de por sí ya escasa en la región. Todos los aprovechamientos que se realizan en el predio están regulados de acuerdo al Programa de Manejo, así como las actividades de mantenimiento que incluyen brechas corta fuego, reforestación en áreas degradadas y el derribo de árboles plagados y enfermos. Las especies con las que se está reforestando son *Pinus patula*, *P. rudis* y *P. montezumae*. La propiedad donde se desarrolla *P. menziesii* es ejidal y el aprovechamiento principal es el maderable, el uso que le dan a la madera extraída es únicamente para realizar muebles.

Los ejidatarios consideran que la causa principal que ha propiciado la desaparición de *Pseudotsuga* en la región es debido al desconocimiento de su estatus, y por confundirlo con *Abies religiosa*, además por incendios forestales intensos que se han presentado en la zona. La plaga que mayormente ataca a *Pseudotsuga* es el gusano barrenador. Durante los recorridos de campo se observó que el bosque ha sufrido daños recientemente por incendios, no se observaron daños al arbolado, ni la presencia de plagas. Aunque no se presentan aprovechamientos clandestinos, si existe disminución del árbol de *Pseudotsuga* a través de los años, ya que la repoblación es baja.

**El Salto.** Se ubica en las coordenadas 20° 04' 17" de L.N., y 98° 32' 50' de L.O., a una altitud de 2,960 m y con una exposición noreste. Se ubica al norte de la población de Matías Rodríguez, a escasos 4.3 km; pertenece al municipio de Singuilucan, Hgo., y el tipo de tenencia de la tierra es privada. El acceso al rodal es desde la ciudad de Tulancingo, tomar la carretera a la ciudad de Pachuca; dirigirse hacia el poblado de Matías Rodríguez, de aquí se toma el camino de terracería que conduce a la Exhacienda de San Antonio Cuyamaloya; al llegar a ella dar vuelta a la derecha y luego hacia la izquierda para subir por la cañada denominada El Atajo y posteriormente subir por el Rincón del Puerto; tomar una brecha que dirige a la mina de arena del predio, el camino es abrupto y resguardado por una cadena.

El clima que existe en este rodal es C(w1), templado, subhúmedo con régimen de lluvias en verano y un porcentaje de precipitación invernal del 5 al 10.2% del total anual; la precipitación media anual es de 732 mm, con una temperatura media anual de 11.7 °C y un índice de aridez de 3.4. El suelo es Litosol, con pH de 5.7, clase textural franca y 12.7% de materia orgánica. La vegetación que predomina es Bosque de pino-encino y las especies asociadas a *P. menziesii* incluyen a *Pinus teocote* y *P. rudis*, además especies de *Quercus*, y una especie de *Agavacea*. La población de *Pseudotsuga* se integra de 105 individuos, y la repoblación es sumamente escasa. La superficie donde crecen los pinabetes es de siete hectáreas.

En este sitio existe Programa de Manejo Forestal en donde se contempla un apartado que restringe el aprovechamiento de *P. menziesii*, salvo cuando se trate de alguna enfermedad o plaga. Las actividades que han ocasionado un daño a la conífera han sido los incendios forestales intensos que se han presentado en la zona, el desconocimiento en cuanto al estatus actual que presenta *Pseudotsuga*, por confusión con *Abies religiosa* y por malos aprovechamientos de la especie. A pesar de que la principal actividad de los ejidatarios es la agricultura, realizan aprovechamientos con fines maderables,

pero todo bajo el estricto orden contemplado en el Programa de Manejo. Durante los recorridos de campo se encontró una producción escasa de conos y una proporción baja de conos dañados por insectos. No se detectaron aprovechamientos recientes ni evidencias de pastoreo.

**Cañada El Atajo.** Se localiza en las coordenadas 20° 03' 20" de L.N., y 98° 32' 53" de L.O., a una altitud de 2,650 m. El poblado más cercano a este rodal es Matías Rodríguez, a tan sólo 3 km de distancia; pertenece al municipio de Singuilucan, Hgo., y el tipo de tenencia de la tierra es propiedad privada. Partiendo de la ciudad de Tulancingo, tomar la carretera estatal a la ciudad de Pachuca; a la altura de Matías Rodríguez, se toma el camino de terracería que conduce a la Exhacienda de San Antonio Cuyamaloya; al llegar a ella dar vuelta a la derecha y luego hacia la izquierda para subir por la cañada denominada El Atajo y a mano izquierda al sur hacia la loma se observan los ejemplares de *Pseudotsuga*, algunos sobre el camino.

El tipo de clima es C(w1), templado, subhúmedo con régimen de lluvias en verano y un porcentaje de precipitación invernal del 5 al 10.2% del total anual. La precipitación media anual es de 617 mm, con una temperatura media anual de 13.1 °C y un índice de aridez de 4.8. El tipo de suelo que predomina es Litosol, con pH de 5.7, clase textural franca y 11.0% de materia orgánica,. El tipo de vegetación presente es Bosque de encino-pino, donde *P. menziesii* se asocia a especies como *Quercus laurina*, *Q. mexicana* y *Pinus teocote*. Este rodal consta de 5.4 ha, donde se desarrollan 35 ejemplares maduros, distribuidos mayormente en exposición norte; pocos con exposición sur en la cañada junto al camino, la cual recibe poca luz del sol por la sombra del cerro. Los árboles de pinabete alcanzan una altura de hasta 20 m, y de 60-80 cm de diámetro normal, se desarrolla en pequeños manchones y sobre una pendiente que oscila de 50 a 70%. La repoblación de la conífera en estudio es escasa.

En este predio se ha elaborado un Programa de Manejo Forestal en el que existe un apartado donde se restringe el aprovechamiento de las especies en riesgo como *Pseudotsuga*. El aprovechamiento se permite sólo en casos que el arbolado se encuentre enfermo o plagado. El propietario se mostró interesado en la conservación de la conífera; sin embargo, existen algunas actividades que han ocasionado un daño a la conífera tales como los incendios forestales, malos aprovechamientos en años anteriores, el desconocimiento por parte de las personas en cuanto al estatus que presenta *Pseudotsuga* y porque lo confundían con *Abies religiosa*. Durante el recorrido de

campo no se observó la presencia de plagas actuales de insectos u otros agentes patógenos atacando al arbolado, ni se encontró evidencia de ataques recientes.

**Tlaxco.** Se ubica en las coordenadas 19° 39' 00" L.N., y 98° 03' 11" L.O., a una altitud de 3,050 m. Este sitio pertenece al municipio de Tlaxco, Tlax., el poblado más cercano es Tlaxco a una distancia de 8.5 km, y el tipo de propiedad es privada. El acceso a este rodal es tomando la terracería que pasa por la colonia Iturbide hacia el norte del poblado, a unos 10 km; pasar por el puente y seguir el norte. Durante la mayor parte del año es posible llegar a ella, con algunas restricciones durante la época de lluvias.

El tipo de clima predominante es el C(w2), templado, el más húmedo de los subhúmedos con régimen de lluvias en verano y un porcentaje de precipitación invernal del 5 al 10.2% del total anual. La precipitación media anual es de 729 mm, con una temperatura media anual de 12.1 °C y un índice de aridez de 3.5. En esta región el suelo que predomina es el Regosol dístico, con pH de 6.5, clase textural franco arenosa y 5.0% de materia orgánica. El tipo de vegetación en este sitio es Bosque de pino y las principales especies que conforman el estrato arbóreo son *Pinus rudis*, *P. teocote*, *P. ayacahuite*, *P. patula*, *P. montezumae*, *Abies religiosa*, *Quercus* spp., *Arbutus xalapensis* y *Pseudotsuga menziesii*.

El rodal de *Pseudotsuga* se localiza al noreste de la localidad de Tlaxco, a una distancia aproximada de 8.5 km. En general el arbolado está compuesto por individuos maduros y sobremaduros; *P. menziesii* se distribuye principalmente en las áreas aledañas a los márgenes del río Zahuapan y de arroyos existentes en el área. El rodal se encuentra ubicado en lomeríos y laderas onduladas con pequeñas barrancas, encontrándose un rango de pendiente de 50-80%, el arbolado presenta una exposición norte y se integra de 400 árboles maduros con escasa repoblación natural, mismos que se desarrollan en una superficie de aproximadamente 48.5 ha.

Durante el recorrido de campo se observaron algunos árboles de *Pseudotsuga* afectados por muérdago, siendo éste el único daño presente en el arbolado, sin llegar a ser un problema generalizado. El predio cuenta con Programa de Manejo Forestal, en que se advierte sobre la conservación de árboles que presentan algún tipo de riesgo, como los pinabetes, y se tiene prohibido el aprovechamiento de esta conífera; además, el manejo que se da al bosque es bueno ya que se realizan brechas corta fuegos y obras de conservación de suelos, entre otras actividades.

**Villarreal.** Se ubica en las coordenadas 19° 33' 24" de L.N., y 97° 54' 30" de L.O., a una altitud promedio de 2,950 m. Pertenece al municipio de Terrenate, Tlax.; el poblado más cercano a este rodal es Villarreal a sólo 1.0 km; y el tipo de propiedad es ejidal. El acceso es a través del poblado de Terrenate en carretera pavimentada, entrar al pueblo y tomar terracería (0.8 km) hacia el norte hasta el inicio de la barranca El Conejo (Figura 3.5).

El tipo de clima es Cb'(w2), semifrío subhúmedo con régimen de lluvias en verano y un porcentaje de lluvia invernal del 5 al 10.2% del total anual. La precipitación media anual es de 857 mm, con una temperatura media anual de 10.6 °C y un índice de aridez de 2.4. El suelo que predomina en este sitio es Regosol eútrico, con pH de 6.2, clase textural franco arenosa y 3.4% de materia orgánica. El Bosque de oyamel es la vegetación predominante, donde las especies asociadas a *Pseudotsuga* son *Abies religiosa*, *Quercus laurina*, *Q. rugosa*, *Quercus sp.*, *Pinus teocote*, *P. pseudostrobus*, *P. ayacahuite*, *Arbutus xalapensis*, *Prunus capulli* y *Alnus jorullensis*. El área presenta arbolado en buenas condiciones con exposición norte, sobre una pendiente de 60-65% y la extensión total de este rodal es de 78 ha, en donde se desarrollan aproximadamente 700 árboles adultos. El arbolado en general se encuentra sano, y la edad de los mismos es variable, aunque destacan pequeños manchones de edad madura. La repoblación presente es adecuada.



Figura 3.5. Rodal de *Pseudotsuga menziesii* en la población de Villarreal, Tlax.

A pesar de que en el ejido no existe un Programa de Manejo Forestal, se han establecido reglas por parte de las personas interesadas en la conservación del bosque, principalmente los ejidatarios. Dentro de las reglas que se han establecido sobresalen las siguientes: obtener permisos por parte de las autoridades del ejido para poder aprovechar algún ejemplar del bosque, solicitar permiso

para la extracción de leña y prohíben la extracción de semilla de cualquier especie maderable, vigilancia temporal, establecimiento de cercas para mejor protección del bosque y reforestación en áreas degradadas, con otras especies arbóreas.

La actividad principal de los ejidatarios es la agricultura en donde los principales cultivos son: maíz, haba y papa; aunque reconocen que dependen medianamente del bosque ya que toda la leña que usan la extraen de esta área. El ganado que más se produce en el ejido es el ovino, mismo que en ciertas temporadas del año es introducido al área boscosa para que obtengan su alimento. Se ha observado una disminución en la superficie del bosque ocasionado por los malos aprovechamientos que se han realizado en esta zona, además de los incendios forestales que son muy frecuentes en la región.

Durante la visita realizada a este rodal se observó que algunos árboles son extraídos cuando se secan y otros son podados para obtener leña. Además, de observar los siguientes daños físicos a *P. menziesii*: corteza quemada, árboles dañados de la corteza (Figura. 3.6), tala clandestina, árboles derribados por el viento y árboles puntisecos. Además del cambio de uso de suelo en los alrededores del rodal y el pastoreo de borregos en la superficie que ocupa el bosque.



Figura 3.6. Daños ocasionados a los individuos de *P. menziesii* en la población de Villarreal, Tlax.

**Zapata.** Se ubica en las coordenadas 19° 32' 49" de L.N., 97° 56' 31" de L.O., a una altitud de 2,990 m. Pertenece al municipio de Emiliano Zapata, Tlax.; el poblado más cercano es Emiliano Zapata a 1.7 km de distancia y el tipo de propiedad es ejidal. La población de *Pseudotsuga* se compone de dos manchones, el acceso al primer rodal es a partir del poblado Emiliano Zapata, tomando la carretera pavimentada hacia Villareal con dirección este (3 km), pasar un cruce y seguir por 1 km con dirección sureste, tomar terracería secundaria que baja hacia el suroeste (1 km); al segundo manchón se llega cruzando el área del primero, bajando (1 km) por terracería hasta cruzar un bosque de *Pinus patula*. El arbolado de *Pseudotsuga* se desarrolla sobre una barranca denominada Tepezintla, localizada justo al norte de la barranca El Conejo (Villareal).

El tipo de clima es Cb'(w2) semifrío subhúmedo con régimen de lluvias en verano y un porcentaje de lluvia invernal del 5 al 10.2% del total anual. La precipitación media anual es de 837 mm, con una temperatura media anual de 10.7 °C y un índice de aridez de 2.5. El tipo de suelo que predomina en este sitio es Regosol eútrico, con pH de 6.3, clase textural franco arenosa y 15.5% de materia orgánica. El tipo de vegetación es Bosque de oyamel; y las especies asociadas a *P. menziesii* incluyen a las siguientes especies: *Abies religiosa*, *Pinus pseudostrobus*, *P. teocote*, *P. ayacahuite* y algunos ejemplares de *P. patula*, además de varias especies de *Quercus*. La población de *Pseudotsuga* pertenece a individuos maduros, con un total de 612 árboles, y una proporción menor de árboles jóvenes de buen porte de hasta 30 m de altura. El arbolado se localiza en exposición noroeste principalmente, aunque en menor proporción existe la norte, sobre una pendiente que oscila de 70-80%; la superficie total de los dos rodales es de 52 ha. La repoblación de *Pseudotsuga* es escasa.

El tipo de propiedad al que pertenece este sitio es ejidal, se cuenta con un Programa de Manejo establecido para 9 años y existe un apartado donde se especifica la conservación del bosque, sobre todo de *P. menziesii*. Además, el ejido se ha organizado constituyendo un grupo de Ecología integrado por 12 personas, que trabajan en conjunto con la PROFEPA, mismo que se encarga de la vigilancia dentro de las áreas prioritarias. También realiza otras actividades en pro de la conservación tales como abrir brechas corta fuegos, saneamiento dentro del bosque cada dos años, sanción por pastar cualquier tipo de ganado dentro del bosque y reforestar áreas degradadas con especies nativas de la región, entre otras. Los ejidatarios saben del estatus que presenta *Pseudotsuga* y es por ello que tienen prohibida la extracción de esta madera, además de tener la mejor disposición para conservar sus bosques.

Los ejidatarios opinan que el bosque ha sufrido daños a causa de la extracción de madera en forma clandestina, aunque en la actualidad ya no se realizan en gran cantidad, pero aun así se ha visto la disminución de ejemplares de *Pseudotsuga* y otras especies maderables. Sin embargo, se considera a los incendios forestales la causa principal, más que malos aprovechamientos por parte de los ejidatarios. A pesar que se realizan labores de brechas corta fuego, los incendios son muy frecuentes en este sitio. El principal uso que se hace del bosque es el doméstico y la extracción de leña. El principal tipo de ganado que hay en el ejido es el ovino, que tiempo atrás pastaban en el área del bosque, provocando el aplastamiento de la repoblación de las diferentes especies que aquí se desarrollan.

Durante los recorridos de campo se observaron daños al arbolado a causa de un incendio que ocurrió en 1999, que destruyó la mitad de la población, posiblemente ocasionados por los agricultores aledaños a la zona (Figura 3.7); también se observaron daños a los conos de pinabetes causados por el ataque de ardillas, principalmente. Además, se observaron indicios de daños físicos a *P. menziesii* tales como la corteza quemada de la mayoría del arbolado, árboles derribados por el viento, tala clandestina y árboles puntisecos.



Figura 3.7. Evidencias del incendio ocurrido en 1999 en el rodal de Zapata, Tlax.



**La Rosa.** Se ubica en las coordenadas 19° 31' 57" L.N., y 97° 55' 03" L.O., a una altitud de 2,950 m sobre una cañada que corre de noreste a suroeste. El poblado más cercano a este rodal es el de Terrenate, a 6 km; pertenece al municipio del mismo nombre y el tipo de propiedad es privada. El acceso a esta población es a través de la carretera pavimentada de Xaloxtoc hacia Terrenate, pasar Toluca de Guadalupe hacia el noreste y antes del caserío de San Juan tomar la terracería de tezontle que baja hacia el norte (700 m) y hacia el rancho La Rosa.

La población de La Rosa presenta baja densidad de arbolado, con aproximadamente 165 árboles de *Pseudotsuga* sobremaduros. La mayor parte de los árboles adultos son relativamente viejos, distribuidos en una superficie de 31.4 ha y se ubica en terrenos de al menos dos propiedades privadas. Los árboles se ubican sobre la barranca La Rosa, lo cual provee de humedad y existe sombra adecuada, que favorecen el desarrollo de la especie. Velasco *et al.* (2007) encontraron árboles en el rodal de La Rosa con edades de 10 hasta 200 años, lo cual sugiere que es un rodal incoetáneo. La repoblación natural de *Pseudotsuga* es escasa; se encuentran distribuidos en una exposición suroeste y sobre una pendiente que oscila de 60 a 75%.

El tipo de clima es C(w2), templado subhúmedo, con lluvias en los meses de junio a septiembre. La precipitación media anual es de 811 mm, con una temperatura media anual de 11.1 °C y un índice de aridez de 2.8. El suelo que predomina en este sitio es Regosol eútrico, con pH de 6.7, clase textural franco arenosa y 7.5% de materia orgánica. El tipo de vegetación que predomina es Bosque de pino, con presencia de *P. teocote*, *P. rudis*, *P. pseudostrobus* y *P. ayacahuite* y algunas especies de encinos como *Quercus rugosa* y *Q. laurina*. Otras especies asociadas son *Abies religiosa* y *Juniperus deppeana*. La repoblación de *P. menziesii* es sumamente escasa, pero abunda la de los encinos.

A pesar de no existir un Programa de Manejo Forestal, el propietario está interesado en conservar las especies maderables y no maderables que aquí prosperan. Durante el recorrido de campo se encontró una proporción baja de conos dañados por insectos, y en la parte baja de la población es abundante la presencia de heno sobre los árboles, afectándolos considerablemente.

**San Juan.** Se ubica en las coordenadas 19° 30' 58" L. N., y 97° 55' 16" L. O., a una altitud de 3,100 m. El poblado más cercano a este rodal es San Juan, a 1.5 km; pertenece al municipio de Terrenate, Tlax., y el tipo de propiedad es ejidal. Se ubica alrededor del caserío San Juan, al norte de la cabecera municipal, al este del caserío (700 m), subiendo la barranca.

El tipo de clima es Cb'(w2) semifrío, subhúmedo con régimen de lluvias en verano y un porcentaje de lluvia invernal del 5 al 10.2% del total anual. La precipitación media anual es de 766 mm, con una temperatura media anual de 11.3 °C y un índice de aridez de 3.0. El tipo de suelo que predomina es Regosol eútrico, con pH de 6.5, clase textural franca y 10% de materia orgánica. El tipo de vegetación que domina es Bosque de pino y las especies asociadas a *Pseudotsuga* son *Pinus pseudostrobus*, *P. ayacahuite*, *Abies religiosa*, *Quercus rugosa*, *Arbutus xalapensis* y *Alnus jorullensis*.

La población de *Pseudotsuga* es pequeña, ya que sólo cuenta con 12.3 ha y la integran únicamente 84 árboles. El arbolado en general se distribuye con exposición noroeste y norte, sobre una pendiente del 40-50%. La edad de los árboles es variable aunque destacan los árboles jóvenes, sobre la carretera de Terrenate a Villareal.

Durante el recorrido de campo no se observó la presencia de plagas atacando al arbolado, ni se encontraron evidencia de ataques recientes. Sin embargo, se observó el aprovechamiento de alrededor de una decena de árboles de tamaño medio, muertos en pie y algunos vivos. El área presenta una serie de desmontes con fines agrícolas y los propietarios realizan colectas de semilla ya que el arbolado es de cortas dimensiones y produce regularmente abundantes conos.

**Axopilco.** Se ubica en las coordenadas 19° 27' 42" L.N., y 97° 46' 20" L.O., a una altitud de 2,860 m. Se ubica en la Barranca La Quinta, pertenece al municipio de Alzayanca, Tlax.; la ciudad más cercana a este rodal es Alzayanca (4.5 km) y el tipo de propiedad es privada. Para llegar al rodal de pinabetes se conduce hacia la población de Alzayanca, de aquí se debe tomar la terracería secundaria hacia Axopilco ubicado al noreste (buscar guía), llegar hasta una barranca y la hacienda vieja de Axopilco y subir (2 km) hacia el noreste, caminar detrás del casco de la hacienda, siguiendo el acueducto que se ubica del lado derecho de la barranca, justamente donde empieza el rodal, siguiendo el parteaguas se localizan los árboles de *Pseudotsuga*.

El clima que predomina es C(w1), templado, subhúmedo con régimen de lluvias en verano y un porcentaje de precipitación invernal del 5 al 10.2% del total anual; la precipitación media anual es de 837 mm, con una temperatura media anual de 10.8 °C y un índice de aridez de 2.6. El suelo es Regosol eútrico, con pH de 6.8, clase textural franco arenosa y 6.66% de materia orgánica. El tipo de vegetación existente es Bosque de pino-encino, en el que dominan especies de pino, como *P. pseudostrobus*, *P. ayacahuite*, *P. teocote*, *P. rudis* y varias de *Quercus*, aunque en la parte superior de esta población domina *Abies religiosa*. En general el arbolado de pinabete se encuentra en buen estado, con una exposición noroeste y una pendiente que oscila de 80 a 90%. La población de *Pseudotsuga* es de aproximadamente 370 árboles adultos y en edad reproductiva, en una superficie de tan sólo 7.5 ha.

Aunque actualmente no existe Programa de Manejo Forestal del bosque, el propietario está interesado en la conservación del área, ya que menciona saber del estatus que presenta *Pseudotsuga*, y es por ello que le prohibieron derribar cualquier individuo de esta especie. Además, realiza actividades para la buena preservación del mismo, como brechas corta fuego para disminuir el riesgo de incendios y reforestación con especies de pino, principalmente con *Pinus montezumae*. Se observó buena repoblación de *Pseudotsuga*.

El uso principal que se da al bosque es para extraer madera, la que usan para realizar muebles en las comunidades aledañas. Además, se extrae leña para uso doméstico principalmente. El tipo de ganado que existe es el ovino, que no causa perjuicios al bosque ya que se prohíbe el acceso. Durante el recorrido de campo no se observó la presencia de plagas y enfermedades atacando al arbolado, ni se encontraron evidencias de ataques recientes.

**Buenavista.** Se ubica en las coordenadas 19° 25' 02" L.N., y 97° 50' 04" L.O., a una altitud de 2,900 m. El poblado más cercano a este rodal es Buenavista (3.5 km); pertenece al municipio de Alzayanca y el tipo de propiedad es comunal. A partir del poblado de Alzayanca, seguir con dirección norte hacia Buenavista (2 km), salir por la terracería junto a un arroyo y acueducto (3 km) hasta la entrada de la propiedad ejidal, la cual pretenden convertir en un parque recreativo.

El tipo de clima es C(w1) templado, subhúmedo con régimen de lluvias en verano y un porcentaje de precipitación invernal del 5 al 10.2% del total anual; la precipitación media anual es de 707 mm, con una temperatura media anual de 11.3 °C y un índice de aridez de 3.3. El suelo que predomina en este sitio es Regosol eútrico, con pH de 6.1, clase textural franco arenosa y 4.9% de

materia orgánica. El tipo de vegetación que predomina es Bosque de pino-encino. Aunque existen diferentes especies asociadas a *Pseudotsuga*, en la parte baja domina *Cupresus lusitanica*, en la parte media *Pinus oaxacana* y en la parte superior *Abies religiosa*. Además, se encontraron algunas especies de *Quercus* sp., como *Q. laurina* y *Q. rugosa*, y algunos ejemplares de *Pinus teocote* y *Arbutus xalapensis*. La población de *Pseudotsuga* es pequeña, se estima que hay 60 árboles distribuidos en una superficie de 45 ha, con arbolado maduro, de muy baja densidad, los ejemplares se encuentran muy dispersos y su distribución predominante va de sureste a suroeste. La repoblación natural presente es nula.

La zona abastece de agua a la cabecera municipal, por lo que existe un interés especial por parte de los pobladores hacia la protección del bosque. Los comuneros saben de la problemática que presenta *Pseudotsuga* y por ello lo conservan. El predio cuenta con un Programa de Manejo Forestal pero no lo están aplicando, debido a ello se han establecido reglas para el buen uso del bosque. Por ejemplo, no se permite cortar ningún árbol de pinabete, se debe pedir permiso a las autoridades si se quiere aprovechar algún tipo de árbol, no se permite el pastoreo de ningún tipo de ganado, no se permite hacer carbón dentro del bosque de ningún tipo de especie, realizan brechas corta fuego para evitar los incendios forestales y reforestan áreas degradadas.

La actividad principal de los habitantes de este lugar es la agricultura, por lo cual no dependen tanto del bosque, aunque cabe mencionar que tiempo atrás se dedicaban a la producción de carbón usando árboles de encino principalmente. Se observó que el ganado que se produce en esta localidad es el ovino, y aunque ya no es tan frecuente el pastoreo de estos animales dentro del área boscosa, hace tiempo si lo realizaban. Cabe mencionar que el uso principal que hace la comunidad del bosque es el domestico ya que en épocas de lluvia extraen hongos para autoconsumo, además de la extracción de leña. Durante el recorrido de campo no se observó la presencia de plagas atacando al arbolado, ni se encontró evidencia de ataques recientes.

**Cruz de Ocote.** Se localiza en las coordenadas de 19° 42' 24" de L.N., y en 97° 51' 47" de L.O., a una altitud de 2,750 m. Pertenece al municipio de Ixtacamaxtitlán; el poblado más cercano es Cruz de Ocote (2.50 km) y el tipo de propiedad es privada. El acceso a este rodal es a través del núcleo poblacional de Chignahuapan, Pue., dirigirse hacia el poblado de San Alfonso, pasar por ejido Almeya, llegar al poblado Cruz de Ocote y preguntar por el propietario, Sr. Ernesto Cruz Montiel.

El tipo de clima es C(w1) templado, subhúmedo con régimen de lluvias en verano y un porcentaje de precipitación invernal del 5 al 10.2% del total anual. La precipitación media anual es de 665 mm, con una temperatura media anual de 12.2 °C y un índice de aridez de 4.0 °C. El tipo de suelo que predomina en este sitio es Luvisol eútrico, con pH de 4.8, clase textural franco arenosa y 2.5% de materia orgánica. El tipo de vegetación es Bosque de pino y las especies asociadas a *Pseudotsuga* son *Pinus teocote*, *P. pseudostrobus*, *P. patula*, *P. ayacahuite* y *Quercus rugosa*. El arbolado se desarrolla en exposición norte, sobre una pendiente del 50-70% y la repoblación es escasa. La población total es de escasos 85 árboles adultos que se desarrollan en 18.4 ha.

El predio cuenta con un Programa de Manejo Forestal, en el cual se hace un cuidado especial de no aprovechar las especies en riesgo. Además, se realizan brechas corta fuego y no se permite el pastoreo de ganado. Durante el recorrido de campo no se observó ataque de plagas ni enfermedades, ni daño al arbolado de ningún tipo.

**El Llanete.** Se localiza en la cañada El Llanete, entre los pueblitos o caseríos El Llanete y Cruz de León; hay árboles de *Pseudotsuga* de los dos lados de la cañada en ambos pueblos. El arroyo que corre en la parte baja de la cañada divide a los dos pueblos. Las coordenadas de ubicación en El Llanete son: 19° 35'04" L. N y 97° 52'52" L. O y en el lado de Cruz de León: 19° 34'51" y L. N. 97° 52'33" L. O., a una elevación media de 3,000 m. Es propiedad privada de al menos ocho personas.

El acceso a los rodales es desde la comunidad de Emiliano Zapata, Tlax., viajar al noreste por la carretera pavimentada hacia la cabecera municipal de Ixtacamaxitlán. Apenas entrando al estado de Puebla se ubica El Llanete, dar vuelta a la derecha y salir por camino de terracería que conduce a un caserío, de aquí continuar hacia la ladera donde se desarrolla *Pseudotsuga* y bajando a mano derecha se empiezan a observar los árboles. Se puede seguir por el camino pavimentado hasta Cruz de León, seguir el camino de terracería a una escuela técnica y dejar vehículo en la parte superior de la barranca. Dos individuos pueden observarse desde el pavimento al cruzar la cañada desde la parte superior de la población.

El clima que predomina es Cb'(w2), semifrío subhúmedo con régimen de lluvias en verano y un porcentaje de lluvia invernal del 5 al 10.2% del total anual. La precipitación media anual es de 811 mm, con una temperatura media anual de 11.1 °C y un índice de aridez de 2.8. El tipo de vegetación es un Bosque de pino con vegetación secundaria, donde domina *Pinus teocote* y también existen al menos

tres especies de *Quercus* spp (*Q. laurina*, *Q. rugosa* y *Q. crasifolia*) y pocos ejemplares de *Abies religiosa*. El tipo de suelo presente es Feozem háplico, con pH de 5.0, clase textural franco arenosa y 8.8% de materia orgánica.

La superficie que ocupa *Pseudotsuga* es de 28.6 ha, donde se desarrollan 450 árboles maduros, mayores de 10 m de altura y 15 cm de diámetro normal, sobre una pendiente de 60-70%, con exposición norte, noroeste y suroeste, esta última del lado de Cruz de León donde hay menos densidad pero los árboles se desarrollan aquí porque la pendiente es fuerte y se encuentran cubiertos por la sombra de la montaña. La dominancia cambia según la exposición y la altura del terreno. En la parte de arriba del sitio de Cruz de León abunda *Quercus* y *Pseudotsuga*, en tanto en la parte intermedia *Abies religiosa*. En este rodal se contaron 100 árboles maduros y en el lado del sitio el Llanete los restantes 350 árboles.

En el predio no existe un Programa de Manejo Forestal, sin embargo, existen reglas para la conservación del arbolado, tales como no cortar árboles para venta de madera, solo para beneficio de los propietarios, ya que personal de SEMARNAT hace sus respectivas visitas al bosque. Los propietarios presentan interés en la conservación del arbolado, debido a que dentro del bosque pasa un arroyo el cual es de mucha utilidad. Durante el recorrido de campo no se observaron daños al arbolado de *Pseudotsuga* de ningún tipo.

**Minatitlán.** Se ubica en las coordenadas 19° 33' 19" de L. N., y 97° 51' 14" de L. O., a una altitud de 2,900 m. El poblado más cercano al rodal es Minatitlán; pertenece al municipio de Ixtacamaxtitlán, Pue., y el tipo de tenencia de la tierra es privada. Para acceder a esta población, se conduce con rumbo a Villareal, hacia el este, salir a terracería que va hasta puerto Analco por 5 km, pasando el cerro La Imagen para tomar una terracería secundaria hacia el este (6 km, terracería complicada); llegando a Minatitlán seguir terracería secundaria (1 km).

El tipo de clima es Cb'(w2), semifrío, subhúmedo con régimen de lluvias en verano y un porcentaje de lluvia invernal del 5 al 10.2% del total anual; la precipitación media anual es de 896 mm, con una temperatura media anual de 10.1 °C y un índice de aridez de 2.1. El suelo que predomina en este sitio es Regosol eútrico, con pH de 6.4, clase textural franca y 10.5% de materia orgánica. El tipo de vegetación que domina en este rodal es Bosque de oyamel, y las especies asociadas a *P. menziesii* son *Abies religiosa*, *Pinus ayacahuite*, *P. patula*, *Quercus rugosa*, *Q. laurina*, *Q. crasifolia* y *Arbutus*

*xalapensis*. La población de pinabetes es pequeña, de tan sólo 45 árboles maduros en 12.7 ha. El arbolado se desarrolla en exposición noroeste, sobre una pendiente que oscila entre 45-50%. Durante el recorrido de campo se observó que el propietario está reforestando las áreas degradadas con *Pinus teocote*, *P. ayacahuite* y *P. montezumae*. No se observó daños al arbolado de ningún tipo.

**Tlalmotolo.** La población de *Pseudotsuga* se ubica en las coordenadas 19° 32' 59" de L.N., y 97° 43' 51" de L.O., a una altitud de 2,900 m. El poblado más cercano al rodal es Tlalmotolo, pertenece al municipio de Ixtacamaxtitlán, Pue., y el tipo de tenencia de la tierra es ejidal. El acceso es a partir de la población de Libres, tomando la carretera pavimentada a Ixtacamaxtitlán, por la terracería hacia la derecha (para pasar Las Chapas, a 1.5 km) y continuar al norte por 5 km hasta el poblado de Tlalmotolo, la población de *Pseudotsuga* se ubica a 1 km al este del poblado.

El tipo de clima es Cb'(w2), semifrío, subhúmedo con régimen de lluvias en verano y un porcentaje de lluvia invernal del 5 al 10.2% del total anual; la precipitación media anual es de 726 mm, con una temperatura media anual de 11.7 °C y un índice de aridez de 3.4. El suelo que predomina es Regosol eútrico, con pH de 6.4, clase textural franca y 50.3% de materia orgánica. El tipo de vegetación que encontramos es Bosque de pino, y las especies asociadas a *Pseudotsuga* son *Pinus ayacahuite*, *P. patula*, *P. pseudostrobus*, *Abies religiosa* y *Quercus rugosa*. El rodal de pinabetes se integra de árboles maduros a jóvenes y la repoblación natural es buena. La cantidad de árboles adultos que se desarrollan en este rodal es de aproximadamente 565, en una superficie de 40.5 ha y en una pendiente que va de 60-80%.

No existe un Programa de Manejo Forestal del bosque, tampoco alguna organización encargada de la conservación lo que deja a libertad de los mismos ejidatarios y de personas ajenas al ejido para extraer árboles de manera clandestina; este hecho y los incendios forestales son un problema en las áreas boscosas del ejido. Los incendios se presentan muy a menudo y son muy intensos, lo cual aumenta el riesgo de que el rodal de *Pseudotsuga* desaparezca. Durante el recorrido de campo no se detectaron aprovechamientos recientes de ningún tipo de árbol, aunque se observaron indicios de plagas en conos de *Pseudotsuga*, además del pastoreo de ovinos en áreas del bosque.

**Tonalapa.** Las coordenadas son 19° 32' 55" L. N., y 97° 47' 47" L. O., a una altitud de 2,750 m. El poblado más cercano al rodal de *Pseudotsuga* es Tonalapa; pertenece al municipio de Ixtacamaxtitlán, Pue., y el tipo de propiedad es ejidal. Se puede llegar desde la población de Minatitlán bajando de este poblado y tomar la carretera pavimentada de Ixtacamaxtitlán a Libres, con dirección este, pasar por Zaragoza, conducir hacia el sureste (4 km), en una curva cerrada se ubica la cañada de Tonalapa.

El tipo de clima es Cb'(w2) semifrío, subhúmedo con régimen de lluvias en verano y un porcentaje de lluvia invernal del 5 al 10.2% del total anual. La precipitación media anual es de 824 mm, con una temperatura media anual de 10.8 °C y un índice de aridez de 2.6. El suelo que predomina es Regosol eútrico, con pH de 6.1, clase textural franca y 3.3% de materia orgánica. El tipo de vegetación que domina en este rodal es Bosque de oyamel. Las especies asociadas a *Pseudotsuga* son *Abies religiosa*, *Pinus pseudostrobus*, *P. patula*, *P. ayacahuite*, *Quercus rugosa* y *Q. laurina*. El arbolado de pinabete se integra por escasos 166 árboles adultos y se desarrolla en una superficie de 36.7 ha, en exposición norte y sobre una pendiente de 80-90%. En general la población presenta escasa repoblación natural.

Cabe mencionar que la mayoría de los ejidatarios conocen el árbol de *Pseudotsuga* y saben de su estatus en la Norma Oficial Mexicana, que requiere protección especial. A pesar de lo anterior, no se cuenta con Programa de Manejo que regule los aprovechamientos y manejo del bosque; aunque los ejidatarios se esfuerzan en la conservación, las reglas establecidas no han sido suficientes, ya que personas ajenas no las respetan y en los últimos años se ha visto disminuida el área boscosa a causa de la tala clandestina y debido a los aprovechamientos que se realizaban (años atrás), principalmente de la extracción de madera sin control, de tal modo que el rodal de *Pseudotsuga* ha disminuido su tamaño (superficie). El ejido realiza brechas corta fuego para evitar incendios forestales, y enfatizan que están interesados en la conservación de sus bosques.

Durante el recorrido de campo se detectó que la frontera agrícola avanza cada vez más hacia la zona boscosa (Figura 3.8) provocando la tala de árboles maderables ya que los productores se dedican al cultivo de haba, papa y maíz, principalmente. Además, se observó la presencia de borregos pastando dentro del bosque, lo cual ha ocasionado la degradación del suelo. No se detectaron aprovechamientos recientes de extracción de madera ni de daños al arbolado.





Figura 3.8. Cambio de uso de suelo, en las cercanías del rodal de *P. menziesii* en Tonalapa, Pue.

**Cuatexmola.** Las coordenadas de ubicación son 19° 30' 22" de L. N., y 97° 50' 21" de L. O., a una altitud de 2,850 m. El poblado más cercano a este rodal es Cuatexmola; pertenece al municipio de Ixtacamaxitlán, Pue., y el tipo de tenencia de la tierra es ejidal (Ejido Xonacatla). El acceso a esta población es a partir del poblado La Garita, continuar por la terracería con dirección noroeste (2 km) y después tomar la terracería a mano izquierda que baja (3 km), posteriormente tomar una terracería secundaria a mano derecha, con dirección norte (2 km, camino hacia una mina de piedras). A partir del poblado de La Caldera, seguir por 1.2 km al oeste y de aquí buscar la terracería que conduce hacia el rodal de *Pseudotsuga*.

El tipo de clima es Cb'(w2), semifrío, subhúmedo con régimen de lluvias en verano y un porcentaje de lluvia invernal del 5 al 10.2% del total anual. La precipitación media anual es de 738 mm, con una temperatura media anual de 11.5 °C y un índice de aridez de 3.6. El suelo que predomina en este sitio es Regosol eútrico, con pH de 6.1, clase textural franca y 15.4% de materia orgánica. El tipo de vegetación que predomina es Bosque de pino, y las especies asociadas a *P. menziesii* son *Pinus teocote*, *P. ayacahuite*, *P. pseudostrobus*, *P. rudis*, *Abies religiosa* y *Quercus* sp.

La población de *Pseudotsuga* ocupa una superficie de 14.2 ha y se integra de aproximadamente 250 árboles adultos y en edad reproductiva, los cuales son árboles maduros con un diámetro normal que oscila entre 30 y 60 cm. La exposición dominante es norte y oeste; en esta última los árboles son de menor porte y se desarrollan sobre una pendiente de 40-50% (Figura 3.9).



Figura 3.9. Rodal de *Pseudotsuga menziesii* en la población de Cuatxmola, Pue.

El tipo de propiedad en este rodal es ejidal; aunque no se cuenta con un Programa de Manejo Forestal, se han establecido reglas para el buen manejo del bosque, tales como pedir permiso a las autoridades para poder derribar un árbol, sanción por pastar cualquier tipo de ganado, permiso para la extracción de leña. Los ejidatarios comentan que personal de la PROFEPA realiza visitas periódicas al predio, con el fin de vigilar y verificar que no existan malos aprovechamientos del bosque, principalmente por tala clandestina.

Existe una organización en el ejido encargada de la conservación del bosque; entre las acciones que realizan es la reforestación en áreas degradadas con *Pinus ayacahuite* y *Abies religiosa*, además de realizar brechas corta fuego. El ejido sabe de la protección que presenta *Pseudotsuga*, por lo que tienen prohibido cortar ejemplares de esta especie. El principal uso del bosque es el doméstico, no se permite la extracción de madera. Durante el recorrido de campo no se observaron daños al arbolado de ningún tipo.

**La Caldera.** Se encuentra en las coordenadas 19° 30' 21" de L. N. y 97° 52' 10" de L. O., a una altitud de 3,000 m. El poblado más cercano al rodal de *Pseudotsuga* es La Caldera, pertenece al municipio de Ixtacamaxtitlán, Pue., y el tipo de tenencia de la tierra es privada. El acceso a este rodal es desde el poblado de Terrenate, Tlax., tomando la carretera hacia el norte y a la altura del puerto El Pilancón, tomar terracería a la derecha en dirección noreste por 2 km, luego sobre terracería hacia la derecha con dirección este por 2 km. Al llegar a La Caldera tomar terracería a la izquierda con dirección norte a la casa del Sr. Antonio Macías. El rodal se ubica a 1 km al noroeste de esta propiedad por terracería.

El clima predominante es Cb'(w2), semifrío, subhúmedo con régimen de lluvias en verano y un porcentaje de lluvia invernal del 5 al 10.2% del total anual. La precipitación media anual es de 683 mm, con una temperatura media anual de 11.7 °C y un índice de aridez de 3.3. El suelo que predomina en este sitio es Regosol eútrico, con pH de 6.1, clase textural franco arenosa y 10% de materia orgánica. El tipo de vegetación es Bosque de pino y los ejemplares de *P. menziesii* se encuentran asociados a *Pinus teocote*, *P. pseudostrobus* y *Abies religiosa* que se desarrolla en la parte superior del bosque. La cantidad aproximada de árboles que se desarrolla en este rodal es de 380, aunque existe otro pequeño manchón de escasos 35 árboles que están al norte del pueblo sobre la propiedad ejidal; la superficie total del rodal es de 20.9 ha.

El rodal de *Pseudotsuga* se integra por individuos maduros de diámetros normales grandes (60-80 cm) y la repoblación natural es escasa. La exposición del rodal es noroeste mayormente, y se desarrolla sobre una pendiente que oscila de 45 a 55%. Este predio cuenta con Programa de Manejo Forestal, y el propietario se encuentra interesado en la conservación del bosque, ya que señala ha invertido en actividades para la conservación, como reforestación y limpia del bosque. Aunque su principal actividad es la agricultura, el uso que da al bosque es la extracción de leña y madera en rollo, pero sin aprovechar los ejemplares de *Pseudotsuga*, además de la colecta de semilla con fines comerciales. Durante el recorrido de campo, observamos que existe pastoreo por animales ajenos al dueño, con veredas por todo el predio que han compactado el suelo y perjudicado la buena repoblación en el sitio.

**La Garita.** Se ubica en las coordenadas 19° 29' 10" L. N., y 97° 49' 00" L. O., a una altitud de 2,980 m. El poblado más cercano a este rodal es La Garita (1.5 km), pertenece al municipio de Ixtacamaxtitlán, Pue., y el tipo de tenencia de la tierra es ejidal. Se llega desde Huamantla, Tlax., hacia el norte pasando por el poblado Benito Juárez, continuar (20 km) hasta La Garita, entrando al pueblo a mano izquierda pasar tres cuadras, y la población se ubica en una barranca a 60 m del caserío.

El tipo de clima es Cb'(w2), semifrío, subhúmedo con régimen de lluvias en verano y un porcentaje de lluvia invernal del 5 al 10.2% del total anual. La precipitación media anual es de 791 mm, con una temperatura media anual de 10.9 °C y un índice de aridez de 2.8. El suelo que predomina es Regosol eútrico, con pH de 6.2, clase textural franco arenosa y 11.3% de materia orgánica. El tipo de vegetación que domina en este rodal es Bosque de oyamel, y las especies asociadas a *Pseudotsuga* son *Abies religiosa*, *Pinus pseudostrobus* y *Quercus* sp; aunque la densidad de estas especies es muy baja. La población de *Pseudotsuga* es pequeña, de apenas 15 árboles adultos, que se distribuyen en un área de 3.6 ha. Dichos individuos crecen sobre una ladera bastante alterada y expuesta a gran insolación, en exposición noroeste, y sobre una pendiente que oscila de 50 a 60%.

La principal actividad de los ejidatarios es la agricultura, donde los principales cultivos son papa, maíz, haba y forraje para ganado. El ejido se encuentra interesado en la conservación del pinabete ya que mencionan tener conocimiento del estatus que presenta *Pseudotsuga* en México. En este predio existe Programa de Manejo, mismo que tiene una vigencia para nueve años. Dentro del documento existe un apartado que establece las reglas para la conservación del bosque, como prohibir el pastoreo de borregos dentro del área boscosa, reforestar áreas degradadas, no extraer ningún ejemplar de *Pseudotsuga* y pedir permiso a las autoridades competentes para extraer grandes cantidades de leña. El ejido es el encargado de la conservación del bosque y actualmente reciben apoyos de la CONAFOR para el establecimiento de brechas corta fuego.

Durante el recorrido de campo se observó que el cambio de uso de suelo ha afectado severamente al bosque de *Pseudotsuga*, ya que cada vez hay menos ejemplares, además de la nula repoblación natural que existe en el rodal.

**Apizaquito.** La población de *Pseudotsuga* se ubica entre las coordenadas 19° 10' 12" L.N., y 97° 20' 41" L.O., a una altitud de 3,200 m. Se encuentra en el ejido de San José Cuauhtémoc en el municipio de Lafragua, Pue.; el poblado más cercano a este rodal es Cuauhtémoc a 4.5 km y el tipo de propiedad es ejidal. Para llegar a esta población, del poblado Guadalupe Victoria tomar terracería hacia el poblado El Encino y de ahí hacia el Ejido Apizaquito cruzando todo el pueblo hasta la parte superior; posteriormente tomar la terracería hacia el este, junto al acueducto por 3.5 km.

El clima es Cb'(w2), semifrío, subhúmedo con régimen de lluvias en verano y un porcentaje de lluvia invernal del 5 al 10.2% del total anual. La precipitación media anual es de 869 mm, con una temperatura media anual de 10.3 °C y un índice de aridez de 2.3. El suelo que predomina es Andosol ócrico, con un pH de 6.0, clase textural franco arenosa y 14.9% de materia orgánica. El tipo de vegetación que domina en este rodal es Bosque de pino.

El rodal de *Pseudotsuga* es pequeño, se integra de aproximadamente 210 individuos a lo largo de una barranca muy amplia, que en total conforman una superficie de 18.5 ha. En la parte baja del bosque dominan especies de pino, como *P. pseudostrobus*, *P. ayacahuite* y varias especies de *Quercus* y en la parte superior de la población domina *Abies religiosa*. El bosque presenta baja densidad, con árboles semimaduros y se distribuye sobre una pendiente que va de 50 a 80% y una exposición noroeste. La repoblación natural es nula, así como la producción de conos.

Los ejidatarios conocen del estatus actual que presenta *P. menziesii*, y se encargan de la conservación de los individuos. Aunque no existe un Programa de Manejo Forestal, se han establecido reglas para el buen aprovechamiento del bosque, las cuales consisten en solicitar un permiso y comunicar a la organización encargada del bosque para la extracción de árboles y únicamente se permite la corta de árboles secos o plagados. El uso principal que la comunidad da al bosque es meramente doméstico. Sin embargo, durante el recorrido de campo se detectaron algunos daños al arbolado de *P. menziesii*, ya que en tiempos de sequía no se han realizado brechas corta fuego, lo que ha propiciado la presencia de incendios forestales. El mayor daño que sufren los árboles es a causa de plagas y sequía edáfica. No se observaron aprovechamientos maderables, tan sólo la extracción de leña sobre otras especies arbóreas. Además de no existir ningún tipo de plaga atacando al arbolado.

**Barranca Canoita.** Se encuentra en las coordenadas 19° 10' 57" de L.N., y en 97° 19' 07" de L.O., a una altitud de 3,250 m. Pertenece al municipio de Lafragua, Pue.; el poblado más cercano al rodal es Cuauhtémoc y el tipo de propiedad es ejidal (ejido Apizaquito). El acceso a este rodal es a partir del ejido Apizaquito, seguir hacia el sur (4 km) cruzar el arroyo y dar vuelta por la terracería junto a desmontes con fines agrícolas; los árboles de *Pseudotsuga* se distribuyen en una barranca escarpada que va de este a oeste.

El tipo de clima es Cb'(w2), semifrío, subhúmedo con régimen de lluvias en verano y un porcentaje de lluvia invernal del 5 al 10.2% del total anual. La precipitación media anual es de 945 mm, con una temperatura media anual de 9.9 °C y un índice de aridez de 2.0. El suelo que predomina es Andosol ócrico, con pH de 6.4, clase textural franco arenosa y 9.5% de materia orgánica. El tipo de vegetación que domina en este rodal es Bosque de oyamel. La población de *Pseudotsuga* comprende un área de 13.3 ha, donde se desarrollan 65 árboles adultos, los cuales se encuentran asociados con *Abies religiosa*, *Quercus rugosa*, *Q. laurina*, *Arbutus xalapensis*, *Alnus jorullensis* y *Pinus pseudostrobus*. La exposición predominante es noroeste y con una pendiente de 60-75%.

Durante el recorrido de campo no se detectaron aprovechamientos recientes y se encontró escasa repoblación y reforestación con plantas de *Pinus ayacahuite*. Los daños observados al arbolado se deben a la presión por el cambio de uso de suelo y el pastoreo de ganado ovino. No se observó la presencia de plagas actuales de insectos u otros agentes patógenos atacando al arbolado, ni se encontró evidencia de ataques recientes.

**Plan del Baile.** Se ubica entre los paralelos 19° 10' 11" L. N., y 97° 18' 00" L. O. La zona donde se distribuye *P. menziesii*, es al este del municipio de Tlachichuca en el estado de Puebla, dentro del ejido Agua Escondida en el paraje denominado Plan del Baile, que se encuentra a una altitud promedio de 3,400 m. El poblado más cercano a este rodal es Agua Escondida, a sólo 5 km, y el tipo de tenencia de la tierra es ejidal.

El clima donde crece este bosque corresponde a un C(w2), semifrío, subhúmedo con régimen de lluvias en verano y un porcentaje de lluvia invernal del 5 al 10.2% del total anual. La precipitación media anual es de 1,109 mm, con una temperatura media anual de 8.9 °C y un índice de aridez de 1.4. El suelo que predomina en este sitio es Andosol ócrico, con un pH de 6.4, clase textural franca y 10.5%

de materia orgánica. El tipo de vegetación presente es Bosque de oyamel, aunque en el rodal la especie dominante es *P. menziesii* y se encuentra asociada con *Abies religiosa*, *Pinus montezumae*, *P. pseudostrobus*, *P. teocote*, *P. oaxacana*, *Quercus laurina*, *Arbutus xalapensis*, *Juniperus monticola* y *Alnus firmifolia*.

El bosque de *Pseudotsuga* está formado por individuos maduros y sobremaduros, cuyos diámetros normales promedios oscilan de 30 a 120 cm, con alturas que van de 15 a 45 m (Vásquez, 2004); la repoblación de la conífera es escasa y se desarrolla mayormente en exposición noroeste ya que se encuentra distribuida en una barranca cuyas pendientes van desde 45 a 80%, comprende un área de 72.3 ha, donde se desarrollan aproximadamente 825 árboles de *Pseudotsuga*.

Durante el recorrido de campo se observaron varios daños al arbolado, dentro de los que destacan corteza quemada, árboles derribados por vientos, tala clandestina, y árboles puntisecos. Con respecto a los incendios forestales son generalmente ocasionados por los agricultores aledaños a la zona, debido a que existe una fuerte presión por el cambio de uso de suelo con fines agrícolas, específicamente para el cultivo de la papa. Se observaron también árboles en el piso forestal, daños ocasionados por los fuertes vientos; los individuos más afectados son los árboles de mayor altura, sobremaduros, y los que se encuentran en mayor pendiente. No se observó la presencia de plagas atacando al arbolado, ni se encontró evidencia de ataques recientes.

### 3.3.3. Condiciones ecológicas generales de los hábitats de *Pseudotsuga menziesii*

#### a) Factores climáticos

**Tipos climáticos.** Se encontró sólo el grupo climático tipo "C", con cuatro subgrupos (Cuadro 3.2). El que predomina es el Cb'(w2), semifrío subhúmedo con régimen de lluvias en verano y lluvia invernal del 5 al 10.2% del total anual, que se presenta en 13 poblaciones (44.8%). El C(w1) se encuentra en nueve poblaciones (31%), básicamente en los municipios de Mineral del Chico, Pachuca, Mineral del Monte y Singuilucan, en el estado de Hidalgo, y en los municipios de Ixtacamaxtitlán y Altzayanca en el estado de Tlaxcala. En tanto, el C(w2) se encontró únicamente en seis poblaciones (20.7% del total). Por el contrario, el clima C(m) se presenta en sólo una población (3.4%), la de Capula, Mineral del Chico, Hgo.

**Precipitación.** Se encontró que los valores de precipitación media anual oscilan de 611 a 1,109 mm, con un valor promedio de 761.4 mm. El valor mínimo se encontró en la población de Vicente Guerrero, ubicada en el municipio de Omitlán de Juárez, Hgo., con tan sólo 611 mm, mientras que el valor más alto corresponde a la población de Plan del Baile en el municipio de Tlachichuca, Pue., con un valor de 1,109 mm, ubicada en zona de bosque de oyamel, a una altitud de 3,400 m (Cuadro 3.2).

**Temperatura.** Los valores de temperatura oscilan entre 10.1 y 15.0 °C, con un valor promedio de 11.7 °C; el valor más bajo lo encontramos en la población de Minatitlán en el municipio de Ixtacamaxtitlán, Pue., con tan solo 10.1 °C, mientras que el valor más alto se encontró en la población de Vicente Guerrero, en el municipio de Omitlán de Juárez, Hgo (Cuadro 3.2).

**Índice de aridez.** Es el cociente de dividir la sumatoria a través del año de la temperatura que ocurre diariamente arriba de 5 °C entre la precipitación total, a partir de un modelo climático basado en superficies de interpolación conocidas como "thin plate splines", desarrolladas previamente con el programa ANUSPLIN versión 4.3. Mientras mayor sea este valor las condiciones de sequía son mayores. En este caso, los valores de índice de aridez oscilan entre 1.4 y 6.0, con un promedio de 3.4. El valor más bajo se estimó en Barranca Canoita, Lafragua, Pue, en tanto que el valor más alto se encontró en la población de Vicente Guerrero, Omitlán de Juárez, Hgo (Cuadro 3.2).



Cuadro 3.2. Tipo de clima, temperatura media anual (T), precipitación media anual (PP) e índice de aridez de 29 poblaciones de *Pseudotsuga menziesii* en la zona centro de México.

<b>Población</b>	<b>Clima<sup>1</sup></b>	<b><sup>2</sup>PP (mm)</b>	<b><sup>2</sup>T (°C)</b>	<b>Índice de Aridez</b>
1. Capula	C(m)	668	13.0	4.2
2. Las Antenas	C(w2)	763	11.9	3.3
3. San José Capulines	C(w1)	743	12.2	3.6
4. Estanzuela	C(w1)	638	13.6	4.9
5. Presa Jaramillo	C(w2)	715	12.4	3.8
6. Vicente Guerrero	C(w2)	611	15.0	6.0
7. Morán	C(w2)	617	13.5	5.0
8. Peñas Cargadas	C(w1)	740	11.8	3.4
9. Cuyamaloya	C(w1)	635	13.1	4.7
10. El Salto	C(w1)	732	11.7	3.4
11. Cañada El Atajo	C(w1)	617	13.1	4.8
12. Tlaxco	C(w2)	729	12.1	3.5
13. Villareal	Cb'(w2)	857	10.6	2.4
14. Zapata	Cb'(w2)	837	10.7	2.5
15. La Rosa	C(w2)	811	11.1	2.8
16. San Juan	Cb'(w2)	766	11.3	3.0
17. Axopilco	C(w1)	837	10.8	2.6
18. Buenavista	C(w1)	707	11.3	3.3
19. Cruz de Ocote	C(w1)	665	12.2	4.0
20. El Llanete	Cb'(w2)	811	11.1	2.8
21. Minatitlán	Cb'(w2)	896	10.1	2.1
22. Tlalmotolo	Cb'(w2)	726	11.7	3.4
23. Tonalapa	Cb'(w2)	824	10.8	2.6
24. Cuatexmola	Cb'(w2)	738	11.5	3.6
25. La Caldera	Cb'(w2)	683	11.7	3.3

Continua....

Continuación del Cuadro 3.2. Tipo de clima, temperatura media anual (T), precipitación media anual (PP) e índice de aridez de 29 poblaciones de *Pseudotsuga menziesii* en la zona centro de México.

26. La Garita	Cb'(w2)	791	10.9	2.8
27. Apizaquito	Cb'(w2)	869	10.3	2.3
28. Barranca Canoita	Cb'(w2)	945	9.9	2.0
29. Plan del Baile	Cb'(w2)	1109	8.9	1.4

Cm: Templado húmedo con lluvias en verano, con lluvia invernal del 5-10.2% del total anual;  
 C(w1): Templado subhúmedo, lluvias en verano, con precipitación invernal del 5-10.2% del total anual;  
 C(w2): Templado el más húmedo de los subhúmedos, lluvias en verano, precipitación invernal del 5-10.2% del total anual; Cb'(w2): Semifrío subhúmedo, lluvias en verano, lluvia invernal del 5-10.2% del total anual. Fuente:<sup>1</sup> Clasificación climática de Köppen (García, 1989); <sup>2</sup> <http://forest.moscowsl.wsu.edu/climate>.

### b) Factores edáficos

**Unidades de suelo.** Se encontraron seis diferentes unidades de suelo, con sus respectivas subunidades (Cuadro 3.3). El tipo de suelo más frecuente es Regosol eútrico, representando 51.7% del total, mientras que las unidades que se presentan en igual proporción encontramos a Andosol óctrico, Litosol y Luvisol vértico con 10.3% cada una de ellas, en tanto en menor porcentaje se encuentra el tipo de suelo Luvisol órtico (3.4%).

**pH.** El valor más bajo de pH del suelo que se encontró en las poblaciones muestreadas fue de 4.8, en la población de Cruz de Ocote, mientras que el valor más alto fue de 6.8 en las poblaciones de Axopilco y Capula. Los resultados muestran una clara tendencia de suelos ácidos a ligeramente ácidos (Cuadro 3.3).

**Materia orgánica.** El porcentaje de materia orgánica oscila de 2.5 a 50.3%, con un valor promedio de 13%. El valor más bajo se presenta en la población de Cruz de Ocote, mientras que el valor más alto en Tlalmotolo (Cuadro 3.3).

**Textura.** Los suelos de las poblaciones estudiadas presentan una clase textural de franco arenosa en su mayoría, con 62.1%, mientras que el restante 37.9% es de textura franca (Cuadro 3.3).

Cuadro 3.3. Factores edáficos de las poblaciones naturales de *Pseudotsuga menziesii* en la zona centro de México.

Población*	Unidad <sup>1</sup>	pH <sup>2</sup>	DAP	%M.O	**Clase textural <sup>3</sup>	Color del suelo <sup>4</sup>		
						Seco	Descripción	Húmedo
1.	Regosol dístico	6.8	1.04	6.68	F	10YR 4/2: Gris oscuro	10YR 3/3: Pardo grisáceo muy oscuro	10YR 3/3: Pardo grisáceo muy oscuro
2.	Cambisol húmico	5.6	0.70	7.20	F	10YR 3/3: Pardo grisáceo muy oscuro	10YR 3/3: Pardo grisáceo muy oscuro	10YR 3/3: Pardo grisáceo muy oscuro
3.	Regosol dístico	5.5	0.75	50.09	FA	10YR 6/2: Gris	10YR 4/2: Gris oscuro	10YR 4/2: Gris oscuro
4.	Feozem háplico	6.1	0.83	5.03	FA	10YR 6/4: Pardo claro	10YR 4/3: Pardo grisáceo oscuro	10YR 4/3: Pardo grisáceo oscuro
5.	Cambisol húmico	5.8	0.66	11.95	FA	10YR 5/4: Pardo	10YR 3/3: Pardo grisáceo muy oscuro	10YR 3/3: Pardo grisáceo muy oscuro
6.	Luvisol vértico	5.4	0.75	15.81	FA	10YR 4/3: Pardo grisáceo oscuro	10YR 3/3: Pardo grisáceo muy oscuro	10YR 3/3: Pardo grisáceo muy oscuro
7.	Luvisol vértico	5.9	0.83	8.82	FA	10YR 5/5: Pardo amarillento	10YR 4/3: Pardo grisáceo oscuro	10YR 4/3: Pardo grisáceo oscuro
8.	Luvisol vértico	5.9	0.70	37.05	FA	10YR 5/3: Pardo grisáceo	10YR 2/2: Negro	10YR 2/2: Negro
9.	Litosol	5.6	0.73	12.43	F	10YR 5/3: Pardo grisáceo	10YR 3/3: Pardo grisáceo muy oscuro	10YR 3/3: Pardo grisáceo muy oscuro
10.	Litosol	5.7	0.68	12.76	F	10YR 4/2: Gris oscuro	10YR 3/2: Gris muy oscuro	10YR 3/2: Gris muy oscuro
11.	Litosol	5.7	0.89	11.09	F	10YR 3/2: Gris muy oscuro	10YR 2/2: Negro	10YR 2/2: Negro
12.	Regosol dístico	6.5	1.08	5.03	FA	10YR 5/3: Pardo grisáceo	10YR 3/3: Pardo grisáceo muy oscuro	10YR 3/3: Pardo grisáceo muy oscuro
13.	Regosol eútrico	6.2	0.73	3.40	FA	10YR 4/3: Pardo grisáceo oscuro	10YR 2/2: Negro	10YR 2/2: Negro
14.	Regosol eútrico	6.3	1.04	15.55	FA	10YR 6/7: Amarillo parduzco	7.5YR 5/7: Pardo fuerte	7.5YR 5/7: Pardo fuerte
15.	Regosol eútrico	6.7	0.83	7.49	FA	10YR 5/5: Pardo amarillento	10YR 5/4: Pardo	10YR 5/4: Pardo
16.	Regosol eútrico	6.5	0.83	9.98	F	10YR 5/4: Pardo	10YR 3/4: Pardo oscuro	10YR 3/4: Pardo oscuro
17.	Regosol eútrico	6.8	0.85	6.66	FA	10YR 4/2: Gris oscuro	10YR 2/2: Negro	10YR 2/2: Negro
18.	Regosol eútrico	6.1	0.92	4.88	FA	10YR 5/3: Pardo grisáceo	10YR 3/3: Pardo grisáceo muy oscuro	10YR 3/3: Pardo grisáceo muy oscuro

Continúa ...

Continuación del Cuadro 3.3. Factores edáficos de las poblaciones naturales de *Pseudotsuga menziesii* en la zona centro de México.

19.	Luvisol órtico	4.8	1.26	2.46	FA	10YR 6/5: Pardo amarillento claro	10YR 3/5: Pardo amarillento oscuro
20.	Feozem háplico	5.0	1.00	8.76	FA	5YR 5/5: Pardo rojizo	5YR 5/5: Pardo rojizo
21.	Regosol eútrico	6.4	0.78	10.48	F	10YR 6/5: Pardo amarillento claro	10YR 4/3: Pardo grisáceo oscuro
22.	Regosol eútrico	6.4	0.73	50.26	F	10YR 3/3: Pardo grisáceo muy oscuro	10YR 2/2: Negro
23.	Regosol eútrico	6.1	0.94	3.33	F	10YR 4/3: Pardo grisáceo oscuro	10YR 3/2: Gris muy oscuro
24.	Regosol eútrico	6.1	0.84	15.42	F	10YR 4/3: Pardo grisáceo oscuro	10YR 3/2: Gris muy oscuro
25.	Regosol eútrico	6.1	0.90	9.98	FA	10YR 6/2: Gris	10YR 4/2: Gris oscuro
26.	Regosol eútrico	6.2	0.80	11.32	FA	10YR 5/4: Pardo	10YR 3/3: Pardo grisáceo muy oscuro
27.	Andosol óctrico	6.0	0.89	14.87	FA	10YR 4/3: Pardo grisáceo oscuro	10YR 3/2: Gris muy oscuro
28.	Andosol óctrico	6.4	0.80	9.49	FA	10YR 5/3: Pardo grisáceo	10YR 3/2: Gris muy oscuro
29.	Andosol óctrico	6.4	0.93	10.48	F	10YR 5/4: Pardo	10YR 3/4: Pardo oscuro

Fuente: <sup>1</sup>INEGI, 1998; <sup>2</sup>Solución acuosa (2:1); <sup>3</sup>Método de Bouyucos; <sup>4</sup>Carta de Colores Munsell.

\* 1: Capula; 2: Las Antenas; 3: San José Capulines; 4: Estanzuela; 5: Presa Jaramillo; 6: Vicente Guerrero; 7: Morán; 8: Peñas cargadas; 9: Cuyamaloya; 10: El Salto; 11: Cañada El Atajo; 12: Tlaxco; 13: Villareal; 14: Zapata; 15: La Rosa; 16: San Juan; 17: Axopilco; 18: Buenavista; 19: Cruz de Ocote; 20: El Llanete; 21: Minatitlán; 22: Tlalmoloto; 23: Tonalapa; 24: Cuatexmola; 25: La Caldera; 26: La Garita; 27: Apizaquito; 28: Barranca Canoita; 29: Plan del Baile.

\*\* F: Franco; FA: Franco arenoso.

**Color.** Se encontró que el 69% de los suelos presentan colores de tono pardo y sus combinaciones, siendo el pardo grisáceo el más común; mientras que los tonos gris y amarillo conforman el restante 31%, con sus respectivas combinaciones. En el suelo húmedo el tono más común es el pardo grisáceo muy oscuro y, en menor proporción, el gris con sus combinaciones (Cuadro 3.3).

### **c) Factores bióticos**

Los tipos de vegetación donde se desarrolla *Pseudotsuga* corresponden a bosque de oyamel, bosque de pino, bosque de pino-encino y bosque de encino-pino; el más frecuente es el bosque de oyamel (Cuadro 3.4) y, por consiguiente, la especie arbórea asociada con mayor frecuencia a *Pseudotsuga* es *Abies religiosa*, encontrándose en 22 de las poblaciones, mientras que la especie arbórea asociada con menor frecuencia es *Litsea glaucescens*, encontrándose en apenas una población. La población que presenta mayor número de individuos de *Pseudotsuga* es San José Capulines, conformada por 1,450 árboles adultos, mientras que la población más pequeña es Morán con tan sólo cuatro árboles, ambas localizadas en el estado de Hidalgo. En total se estimaron 9,029 árboles maduros, con un promedio de 311 por población.

Los géneros arbóreos asociados a *Pseudotsuga* en las poblaciones estudiadas son *Quercus*, *Pinus*, *Abies*, *Arbutus* y *Juniperus*; Velasco *et al.* (2006) encontraron los mismos géneros en San José Capulines y en el Salto en Hidalgo. Acevedo (1998) encontró que en la población ubicada en Ixtepeji Oaxaca, los bosques de *Pseudotsuga* se encuentran asociados con especies de *Quercus*, principalmente y algunas coníferas como *Pinus oaxacana*, *P. teocote*, *P. ayacahuite* y *Abies religiosa*. Además se encontró que las poblaciones de *P. menziesii* presentan bajos niveles de repoblación natural comparados con otras especies arbóreas que habitan en el mismo sitio.

Cuadro 3.4. Tipos de vegetación y especies arbóreas asociadas de las poblaciones de *Pseudotsuga menziesii* en la zona centro de México.

<b>Población</b>	<b>Tipo de vegetación*</b>	<b>Especies arbóreas asociadas**</b>	<b>N° total de árboles de <i>Pseudotsuga</i></b>
1. Capula	BEVS	Qa, Ql, Qr, Ar, Lg	460
2. Las Antenas	BO	Ar, Qsp	25
3. San José Capulines	BEVS	Qr, Ql, Jd, Ax	1,450
4. Estanzuela	BE	Qsp, Jd, Ax	460
5. Presa Jaramillo	BO	Ar, Asp, Jm, Pt, Pr, Ppa, Qr, Qm	450
6. Vicente Guerrero	BE	Qc, Ql, Qr, Qsp, Ar, Ax, Jd, Pt	16
7. Morán	BO	Ar, Ql, Qr, Qc, Pt, Ax, Cm, Jd	4
8. Peñas Cargadas	BO	Ar, Qc, Qsp, Pt, Jd	525
9. Cuyamaloya	BPE	Ppa, Pt, Qr, Absp, Ar	52
10. El Salto	BPE	Pt, Pr, Pp, Qsp	105
11. Cañada El Atajo	BEP	Ql, Qm, Pt	35
12. Tlaxco	BP	Pr, Pt, Pa, Pm, Qsp, Ar, Ax	400
13. Villareal	BO	Ar, Ql, Qr, Qsp, Pt, Pp, Pa, Ax, Aj	700
14. Zapata	BO	Ar, Ppa, Pp, Pt, Pa	612
15. La Rosa	BP	Pt, Pr, Pp, Pa, Pm, Ar, Qsp, Jd	165
16. San Juan	BP	PP, Pa, Ar, Qr, Ax	84
17. Axopilco	BPE	Pp, Pa, Pt, Pr, Qsp, Ar	370
18. Buenavista	BPE	Po, Pt, Qsp, Ar, Ax, Cl	60
19. Cruz de Ocote	BP	Pt, Pp, Ppa, Pa, Qr	85
20. El Llanete	BPVS	Pt, Ql, Qr, Qcra, Ar	450
21. Minatitlán	BO	Ar, Pa, Ppa, Qr, Ql, Qcra, Ax	45
22. Tlalmotolo	BP	Pa, Ppa, Pp, Ar, Qr	565
23. Tonalapa	BO	Ar, Pp, Ppa, Pa, Qr, Ql	166
24. Cuatexmola	BP	Pt, Pa, Pp, Pr, Ar, Qsp	250

Continúa ...

25. La Caldera	BP	Pt, Pp, Ar	380
26. La Garita	BO	Ar, Pp, Qsp	15
27. Apizaquito	BP	Pp, Pa, Ar, Qsp	210
28. Barranca Canoita	BO	Ar, Qr, Ql, Ax, Aj, Pp	65
29. Plan del Baile	BO	Ar, Pm, Pt, Pp, Po, Ql, Ax, Jm, Af	825

\* BEVS: Bosque de encino con vegetación secundaria; BPVS: Bosque de pino con vegetación secundaria; BO: Bosque de Oyamel; BP: Bosque de Pino; BE: Bosque de Encino; BPE: Bosque de pino-encino; BEP: Bosque de encino-pino.

\*\* Ar (*Abies religiosa*), Ax (*Arbutus xalapensis*), Asp (*Arbutus* sp.), Aj (*Alnus jorulensis*), Af (*Alnus firmifolia*), Cl (*Cupressus lusitanica*), Cm (*Crataegus mexicana*), Qa (*Quercus affinis*), Ql (*Quercus laurina*), Qr (*Quercus rugosa*), Qc (*Quercus crassipes*), Qcra (*Quercus crassifolia*), Qm (*Quercus mexicana*) Qsp (*Quercus* spp.), Pa (*Pinus ayacahuite*), Pm (*Pinus montezumae*), Pp (*Pinus pseudostrobus*), Ppa (*Pinus patula*), Pt (*Pinus teocote*), Pr (*Pinus rudis*), Po (*Pinus oaxacana*), Jd (*Juniperus deppeana*), Jm (*Juniperus monticola*), Pt (*Pinus teocote*) y Lg (*Litsea glaucescens*).

#### **d) Factores topográficos y fisiográficos**

El rango altitudinal donde se desarrolla *P. menziesii* en el centro de México oscila de 2,450 a 3,400 m (Cuadro 3.5), con un valor promedio de 2,900 m. El rango altitudinal registrado en México para las poblaciones de *Pseudotsuga* en estudios realizados en otras poblaciones del país va de 2,400 m en el estado de Oaxaca (Acevedo, 1998) hasta 3,100 m en Nuevo León (Domínguez, 1986).

Las pendientes donde se desarrolla *Pseudotsuga* son bastantes pronunciadas; las más frecuentes son de 80-90%, ya que es muy común ubicar a la especie en barrancas, cerros y lomeríos muy pronunciados, lo cual nos indica que dichos sitios son favorecidos por las condiciones de sombra que permiten el establecimiento de la especie. En el presente estudio, la población con mayor pendiente es la de Peñas Cargadas, mientras que la de menor es la de Morán. Con lo que respecta al tipo de exposición, la más común es la norte y las distintas combinaciones de ésta son también comunes (noroeste y noreste) (Domínguez *et al.*, 2004; Acevedo, 1998). Sin embargo, se presentan dos excepciones: en la población de Capula encontramos una exposición sureste y la población de La Rosa presenta una exposición suroeste. Estas son casos especiales ya que las exposiciones norte son las más reportadas para la especie. Cabe mencionar que estos rodales se encuentran en cañadas protegidas, lo cual propicia las condiciones adecuadas de humedad y sombra que requiere la especie para su buen establecimiento y desarrollo.

Cuadro 3.5. Factores topográficos y fisiográficos de las poblaciones naturales de *Pseudotsuga menziesii* en la zona centro de México.

<b>Población</b>	<b>Altitud (m)</b>	<b>Exposición<sup>1</sup></b>	<b>Pendiente (%)<sup>2</sup></b>
1. Capula	2,760	SE	60-75
2. Las Antenas	2,900	O	70-80
3. San José Capulines	2,850	NE	60-75
4. Estanzuela	2,650	N y E	65-75
5. Presa Jaramillo	2,850	NW y NE	65-75
6. Vicente Guerrero	2,450	NW	50-80
7. Morán	2,600	NW	35-40
8. Peñas Cargadas	2,950	NW	70-80
9. Cuyamaloya	2,650	NW	50-70
10. El Salto	2,960	NW	55-70
11. Cañada El Atajo	2,650	N	50-70
12. Tlaxco	3,050	N	50-80
13. Villareal	2,950	N y NE	60-65
14. Zapata	2,990	NW y N	70-80
15. La Rosa	2,950	SO	60-75
16. San Juan	3,100	NW y N	40-50
17. Axopilco	2,860	NW	80-90
18. Buenavista	2,900	NW y N	40-55
19. Cruz de Ocote	2,750	N	50-70
20. El Llanete	3,000	N, NW	60-70
21. Minatitlán	2,900	NE	45-50
22. Tlalmotolo	2,900	NW y NE	60-80
23. Tonalapa	2,750	N	80-90
24. La Caldera	3,000	NW	45-55
25. Cuatexmola	2,850	N y OE	40-50
26. La Garita	2,980	NE	50-60
27. Apizaquito	3,200	NW	50-80
28. Barranca Canoita	3,250	NW	60-75
29. Plan del Baile	3,400	NW	45-80



### 3.3.4. Agrupamiento de las poblaciones

Se realizó un agrupamiento entre las poblaciones de *P. menziesii* con el fin de encontrar similitud ambiental entre ellas con el propósito de intercambiar material genético entre poblaciones, y así aumentar la diversidad genética (Ledig *et al.*, 2000). El análisis se realizó con base en características ecogeográficas, ya que las poblaciones con ambientes similares pueden intercambiar genes a través de la plantación de árboles, sin problemas de adaptación, provocando un aumento de la diversidad genética, lo que daría estabilidad a cada población a largo plazo.

Se generó el dendrograma (Figura 3.10) con base en siete variables eco-geográficas: latitud, longitud, tipo de clima, especie arbórea asociada, índice de aridez, pH y textura del suelo. La máxima distancia euclidiana entre grupos resultó de 1.175. La separación entre conjuntos de poblaciones permite dilucidar dos grandes grupos de poblaciones (Zonas) de *Pseudotsuga menziesii* en el centro de México. La Zona I con 11 poblaciones (de la 1 a la 11) y la Zona II, con las 18 poblaciones restantes (de la 12 a la 29). Al realizar un corte al 50% de esa distancia, a un valor de 0.585 (línea roja), es posible establecer la formación de seis grupos en cada Zona (Cuadro 3.6).

Cuadro 3.6. Grupos de poblaciones de *Pseudotsuga menziesii*, según el análisis de agrupamiento.

ZONA I		ZONA II		
<b>I. 1</b>	<b>I. 2</b>	<b>II. 1</b>	<b>II. 2</b>	<b>II. 3</b>
Capula	Las Antenas	Tlaxco	Axopilco	Villareal
			Buenvista	Zapata
<b>I. 3</b>	<b>I. 4</b>			La Rosa
Presa Jaramillo	San José Capulines	<b>II. 4</b>	<b>II. 5</b>	La Caldera
Peñas Cargadas		San Juan	Apizaquito	La Garita
Morán		Minatitlán	Barranca Canoita	
	<b>I. 6</b>	Tlalmotolo	Plan del Baile	<b>II. 6</b>
<b>I. 5</b>	Cuyamaloya	Tonalapa		Cruz de Ocote
Estanzuela	El Salto	Cuatxmola		El Llanete
Vicente Guerrero	Cañada El Atajo			

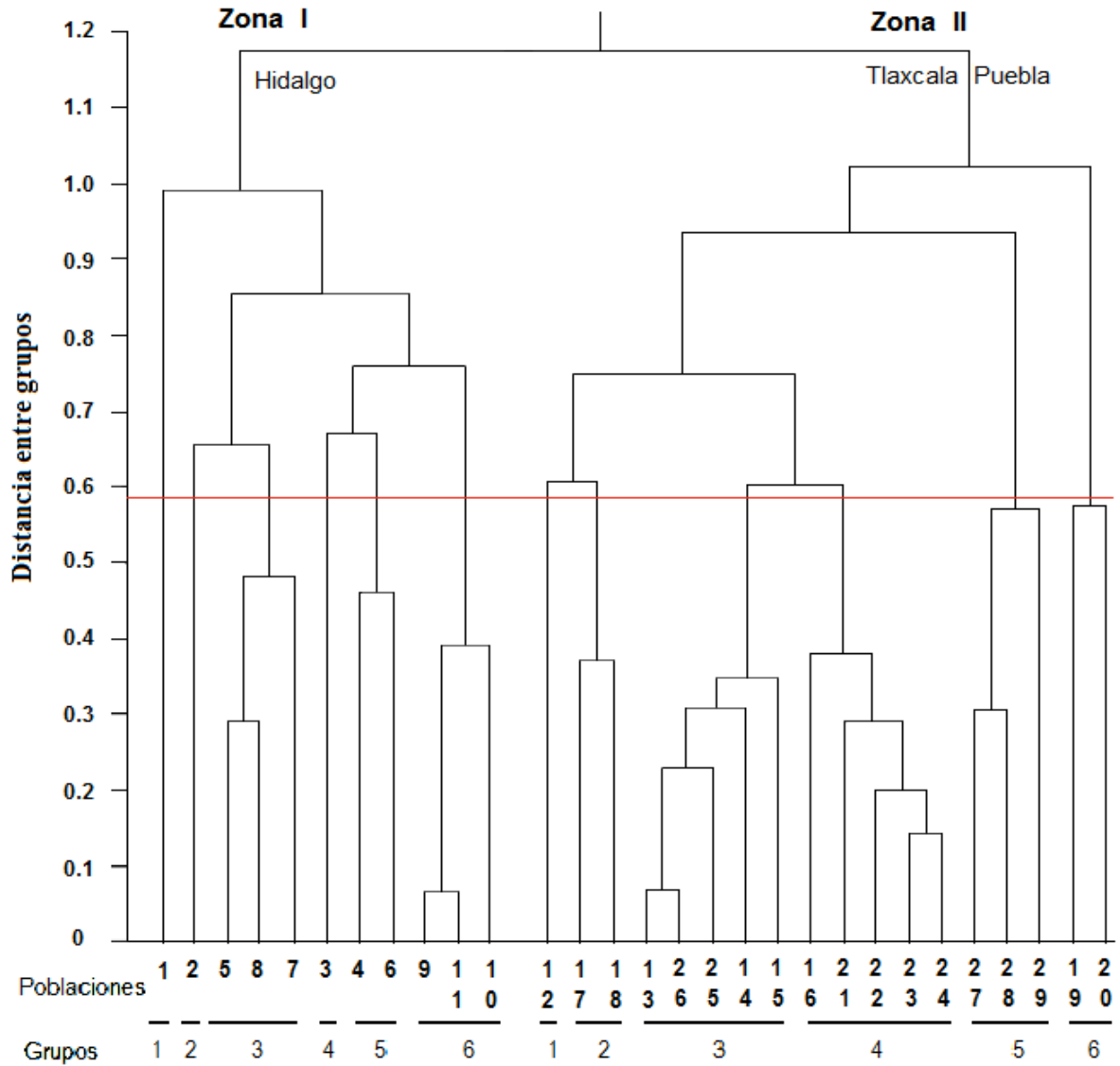


Figura 3.10. Dendrograma de las poblaciones de *Pseudotsuga menziesii* localizadas en la zona centro de México, basado en un análisis de conglomerados de siete variables biofísicas.

**ZONA I.** Comprende las 11 poblaciones que se desarrollan en el estado de Hidalgo, con clima predominante C(w1) o C(w2). Su elevación varía de 2,450 a 2,960 m. con un promedio de 2,750 m. La temperatura media anual de esta zona varía de 11.7 a 15.0 °C, con una media de 12.8 °C. La precipitación media anual de esta zona varía de 611 a 763 mm, con un promedio de 680 mm. El índice de aridez varía de 3.3 a 6.0, con un promedio de 4.3. Los suelos están dominados por Litosoles, Luvisoles, Cambisoles, Regosoles y Feozems, con textura franco-arenosa a franca, y un pH que oscila de 5.4 a 6.8, con un valor promedio de 5.8. Los tipos de vegetación más comunes son los de encino, en cinco

poblaciones, oyamel en cuatro y pino en dos; las especies más comunes en la zona son varias de *Quercus*, *Abies religiosa* y algunas de pino. Se estima que esta zona tiene 3,582 árboles maduros de *Pseudotsuga menziesii*, aunque un 40% de ellos está en la población de San José Capulines; seis poblaciones tienen menos de 110 árboles maduros, por lo que están en riesgo.

**Grupo I.1.** Se integra únicamente con la población de Capula, corresponde a un clima C(m), templado, húmedo con régimen de lluvias en verano y un porcentaje de lluvia invernal del 5 al 10.2% del total anual. La precipitación media anual es de 668 mm, con temperatura media anual de 13 °C y un índice de aridez de 4.23. La vegetación existente es Bosque de encino con vegetación secundaria. El suelo que se encuentra en este sitio es Regosol dístico, con pH de 6.8 y clase textural franca. Esta población es la única con este tipo de clima y la de mayor pH en el suelo, lo que puede favorecer para que la población sea única y diferente a las otras en el estado de Hidalgo, con un intercambio de germoplasma muy restringido.

**Grupo I.2.** Incluye la población de Las Antenas, que corresponde a un clima templado. La precipitación media anual es de 763 mm, la temperatura media anual es de 11.9 °C y un índice de aridez de 3.33. La vegetación existente es bosque de oyamel, incluyendo las especies de *Abies religiosa*, *P. menziesii* y *Quercus* spp. El suelo presente es del tipo Cambisol húmico, con pH de 5.6 y clase textural franca. Es otro grupo uni-poblacional, y en dado caso de necesitar germoplasma lo recomendable es usar material de cualquiera de las poblaciones del grupo I.3, Presa Jaramillo, Peñas Cargadas y Morán, a las que se une a una distancia de 0.68 (Figura 3.10).

**Grupo I.3.** Comprende las poblaciones de Presa Jaramillo, Peñas Cargadas y Morán. En este grupo domina el clima templado y la precipitación media anual oscila de 617 a 740 mm. La temperatura media anual va de 11.8 a 13.5 °C, con un índice de aridez promedio de 4.0. El Bosque de oyamel es la vegetación dominante y el tipo de suelo es el Luvisol vértico, con un pH promedio de 5.9, y clase textural franco arenosa. Dentro de este grupo Presa Jaramillo y Peñas Cargadas son más afines (se unen a 0.3), esto significa que es más recomendable intercambiar plantas en estas poblaciones que con la de Morán, a la que se unen en 0.47. Para esta última localidad es importante incrementar el número de individuos, e incorporar plántulas de esos sitios puede ser adecuado.

**Grupo I.4.** Comprende sólo la población de San José Capulines. El clima en este rodal es C(w1), templado, subhúmedo con régimen de lluvias en verano. La precipitación media anual es de 743 mm, con temperatura media anual de 12.2 °C y un índice de aridez de 3.5. El suelo que predomina en este sitio es Regosol dístrico, con pH de 5.5 y clase textural franco arenosa. El tipo de vegetación es Bosque de encino con vegetación secundaria; hay un poco de *Abies religiosa* en las partes más elevadas. Este grupo incluye solo una población, y en caso de requerir germoplasma se recomienda usar material de las poblaciones de Estanzuela y Vicente Guerrero, ya que el punto de unión con ellas se da a una distancia de 0.78. Afortunadamente esta localidad es la más grande, y parece no estar en riesgo.

**Grupo I.5.** Comprende las poblaciones de Estanzuela y Vicente Guerrero. El clima que prevalece es el templado. La precipitación media anual promedio es de 625 mm, con temperatura media anual promedio de 14.3 °C y un índice de aridez promedio de 5.5. La vegetación dominante es bosque de encino y los tipos de suelo son Feozem háplico y Luvisol vértico, respectivamente, con un valor promedio de pH de 5.7 (6.1 y 5.4) y una clase textural franco arenosa. En caso de requerirse planta en cualquiera de estas poblaciones es recomendable intercambiar planta entre ellas. Si se requiere de otra población, la más adecuada es la de San José Capulines, ya que es la más cercana a este grupo (punto de unión a 0.67, Figura 3.10).

**Grupo I.6.** Comprende las poblaciones de Cuyamaloya, El Salto y Cañada El Atajo. Estas poblaciones crecen en un clima templado subhúmedo, con régimen de lluvias en verano y un porcentaje de precipitación invernal del 5 al 10.2% del total anual C(w1). Con una precipitación media anual promedio de 661 mm, una temperatura media anual de 11.7 a 13.1 °C (promedio de 12.6 °C) y un índice de aridez promedio de 4.3. La vegetación dominante es Bosque de pino-encino y el tipo de suelo que prevalece es el Litosol, con un promedio de pH de 5.7 y clase textural franca. Estas poblaciones se localizan al sur del estado de Hidalgo, en localidades medianamente secas. Es recomendable utilizar planta entre ellas, sin existir problemas de adaptación ya que poseen características eco-geográficas similares, más entre las poblaciones de Cuyamaloya y Cañada el Atajo, ya que el punto de unión entre ellas es a 0.07, y la unión con la población del Salto resulta más alejada, a 0.39, ya que se haya a mayor elevación que las dos anteriores y con una menor temperatura media anual y ligeramente mayor precipitación.

**ZONA II.** Comprende las 18 poblaciones de los estados de Tlaxcala y Puebla; con una elevación de 2,750 a 3,400 m (promedio de 2,990 m). La mayoría con clima Cb'(w2) y algunas con C(w1). La temperatura media anual de esta zona es de 8.9 a 12.2 °C, con una media de 10.9 °C. La precipitación media anual de esta zona varía de 665 a 1,109 mm, con un promedio de 811 mm. El índice de aridez varía de 1.4 a 4, con promedio de 2.8. Los suelos están dominados por Regosoles y Andosoles, con un caso de Luvisol o Feozem, de textura franco-arenosa a franca, y un pH que oscila de 4.8 a 6.8 con un valor promedio de 6.1. Los tipos de vegetación son los de bosque de pino y de *Abies religiosa*, con pocos árboles de *Quercus* en ellos. Se estimó que hay 5,447 árboles maduros en esta zona; seis de estas poblaciones tiene menos de 100 árboles.

**Grupo II.1.** Integrado por la población de Tlaxco. El tipo de clima predominante es el templado subhúmedo C(w2), templado, el más húmedo de los subhúmedos con régimen de lluvias en verano y un porcentaje de precipitación invernal del 5 al 10.2% del total anual. La precipitación media anual es de 729 mm, la temperatura media anual de 12.1 °C y un índice de aridez de 3.5. En esta población el suelo predominante es Regosol dístico, con clase textural franco arenosa y pH de 6.5. El tipo de vegetación que predomina es Bosque de pino y las principales especies arbóreas que conforman el estrato arbóreo son *Pinus rudis*, *P. teocote*, *P. ayacahuite*, *P. montezumae*, *Abies religiosa*, *Quercus* spp, *Arbutus xalapensis* y *Pseudotsuga menziesii*. Este grupo representa un caso especial, ya que de acuerdo al dendrograma (Figura 3.10), la población de Tlaxco queda aislada, lo cual es racional ya que se localiza al norte del estado de Tlaxcala separada un poco de las otras. Si se necesitará planta para establecer alguna plantación, lo más adecuado sería introducir planta de las poblaciones de Axopilco y Buenavista, ya que son las más cercanas en el análisis a la de Tlaxco; se unen a una distancia de 0.61.

**Grupo II.2.** Axopilco y Buenavista. El clima en este grupo es C(w1), templado, subhúmedo con régimen de lluvias en verano y un porcentaje de precipitación invernal del 5 al 10.2% del total anual. La precipitación media anual promedio es de 772 mm, una temperatura media anual promedio de 11 °C y un índice de aridez promedio de 2.9. El suelo que predomina es Regosol eútrico, con pH de 6.5, y clase textural franco arenosa. El tipo de vegetación existente es bosque de pino-encino, en el que dominan especies de pino, como *Pinus oaxacana*, *P. teocote*, *P. pseudostrobus*, *P. ayacahuite* y varias de *Quercus* sp., tales como *Q. laurina* y *Q. rugosa* y *Abies religiosa* en las partes más elevadas. Es recomendable intercambiar germoplasma entre estas poblaciones, por poseer características eco geográficas similares entre sí. En caso de desaparecer alguna de estas poblaciones, el intercambio de material genético más

adecuado es con la población de Tlaxco, la más cercana a las de Axopilco y Buenavista; el punto de unión se da en 0.61. Sin embargo, si llegan a desaparecer las tres poblaciones, la alternativa es utilizar planta de cualquiera de las poblaciones del grupo II.3 y II.4, ya que son las poblaciones más próximas a las de estos grupos (punto de unión en 0.75).

**Grupo II.3.** Este grupo se integra con cinco poblaciones (Villareal, Zapata, La Rosa, La Caldera y La Garita) que prosperan en un tipo de clima Cb'(w2), excepto La Rosa, con C(w2). Se desarrollan en rangos de temperatura que van de 10.6 hasta 11.5, con un valor promedio de 11 °C y en rangos de precipitación de 738 hasta 857 mm y un valor promedio de 807 mm; con un índice de aridez promedio de 2.7. Los tipos de suelo que prevalecen son del tipo Regosol eútrico, con pH promedio de 6.3 (de 6.1 a 6.7) y todas con clase textural franco arenosa. La vegetación dominante es bosque de oyamel y de pino y las especies que forman el estrato arbóreo son *Abies religiosa*, *Pinus teocote*, *P. pseudostrobus*, *P. ayacahuite*, *Arbutus xalapensis*, *Prunus capulli*, *Alnus jorullensis*, *Juniperus deppeana* y algunos ejemplares de *P. patula*, mientras que los encinos que prosperan son *Quercus rugosa* y *Q. laurina*.

Es un grupo relativamente grande y amplio, que permite hacer intercambio de planta entre las poblaciones. En caso de necesitar intercambio de cualquier otro sitio, lo más conveniente es utilizar planta de poblaciones del grupo II.4 (Cuadro 3.6), que aunque se presentan un poco alejadas son poblaciones afines para ese propósito (punto de unión en 0.60, Figura 3.10). La Garita posee pocos árboles (15), por lo que puede repoblarse con materiales de Villareal, que tiene mucha afinidad (distancia de 0.08), u otras poblaciones de este grupo.

**Grupo II.4.** Se integra con cinco poblaciones (San Juan, Minatitlán, Tlalmotolo, Tonalapa y Cuatexmola) que comparten un clima Cb'(w2), semifrío subhúmedo con régimen de lluvias en verano y un porcentaje de lluvia invernal del 5 al 10.2% del total anual. Se desarrollan en un rango de temperatura de 10.1 a 11.7 °C, con un promedio de 11.1 °C. La precipitación va de 726 a 896 mm, con un valor promedio de 779 mm y un índice de aridez promedio de 2.9. El tipo de vegetación es bosque de pino y bosque de oyamel en suelos del tipo Regosol eútrico, con pH promedio de 6.3 (de 6.1 a 6.5) y todas las poblaciones con clase textural franca. Este grupo es amplio y se conforma de poblaciones del centro del estado de Puebla únicamente. Minatitlán tiene 45 árboles maduros, así que pueden introducirse plantas de otras poblaciones, preferentemente de Tlalmotolo, Tonalapa y Cuatexmola, con quienes tiene mayor afinidad (distancia de 0.29).

**Grupo II. 5.** Se integra con tres poblaciones: Apizaquito, Barranca Canoita y Plan del Baile. Todas las poblaciones son del tipo Cb'(w2), semifrío, subhúmedo con régimen de lluvias en verano, lluvia invernal del 5 al 10.2% del total anual. Se desarrollan en sitios con temperatura media anual de 8.9 a 10.3 °C, con un promedio de 9.7 °C. La precipitación media anual varía de 869 a 1,109 mm, con un promedio de 974 mm, y un índice de aridez promedio de 1.90. El tipo de vegetación presente es bosque de oyamel y de pino, destacando *Abies religiosa*, *Pinus pseudostrobus* y algunas especies de *Quercus*. Los suelos son del tipo Andosol ócrico, con un pH promedio de 6.3 y clase textural franco arenosa o franca.

En este grupo las poblaciones con mayor similitud son Apizaquito y Barranca Canoita. Por ejemplo, si se presentara un incendio en Barranca Canoita, que tiene sólo 65 árboles maduros, lo recomendable sería usar planta de Apizaquito, por ser ambientalmente con mayor similitud (Figura 3.10).

**Grupo II.6.** Integrada por dos poblaciones, Cruz de Ocote y El Llanete, con climas del tipo C(w1), templado subhúmedo y Cb'(w2), semifrío subhúmedo, respectivamente. La precipitación media anual promedio es de 738 mm (665 y 811 mm), con una temperatura media anual promedio de 11.7 °C (11.1 y 12.2 °C) y un índice de aridez promedio de 3.4 °C. El tipo de suelo que predomina en este sitio es Luvisol órtico y Feozem háplico, con pH promedio de 4.9 (4.8 y 5), y clase textural franco arenosa. El tipo de vegetación que predomina es bosque de pino y las principales especies arbóreas son *Pinus teocote*, *P. pseudostrobus*, *P. patula*, *P. ayacahuite*, *Pseudotsuga menziesii* y *Quercus rugosa*.

Este grupo presenta una característica especial, ya que son poblaciones bastante diferentes entre sí, y apenas se integran a 0.58. En caso de que ambas poblaciones se redujeran drásticamente y se necesitara planta para su posible recuperación, se podría utilizar con alto riesgo material de cualquier otra población del estado de Puebla e incluso de Tlaxcala, aunque resultaran ser bastante diferentes, ya que se unen en 1.03 (Figura 3.10). Cruz de Ocote es más vulnerable porque tiene sólo 85 árboles, mientras que en El Llanete hay 450 árboles maduros.

### 3.4 DISCUSIÓN

Los datos de la distribución natural de la especie indican una fuerte fragmentación de las poblaciones en la región central de México, en una estructura similar a metapoblaciones (Mosseler, 1995), lo cual señala un alto nivel de aislamiento para la especie y sugiere un limitado intercambio genético entre ellas. La superficie promedio por población (25 ha) es baja, si se compara con las grandes extensiones de otras especies arbóreas de la región; las poblaciones remanentes se observan en forma de pequeños manchones de unos cuantos árboles. El tamaño de las poblaciones varía de 4 a 1,450 árboles adultos; 11 de esas poblaciones tienen menos de 100 árboles sexualmente maduros, con una media de 311 y una mediana de 210. Se ha estimado que se requiere un tamaño de población de al menos 180 árboles para reducir los efectos negativos de la falta de polinización y de la endogamia para mantener la producción de semilla a niveles suficientes en especies de coníferas (O'Connell *et al.*, 2006). En algunas de estas poblaciones se han determinado niveles altos de consanguinidad (Cruz *et al.*, 2008), lo que concuerda con una escasa producción de semillas (Mapula *et al.*, 2007), problemas para su germinación y crecimiento inicial (Agis *et al.*, 2007; Mápula *et al.*, 2008), así como una baja repoblación natural (Velasco *et al.*, 2007) lo cual fue comprobado en casi todas las poblaciones incluidas en este trabajo. Una forma de recuperar variabilidad genética para contrarrestar los efectos de la endogamia en la capacidad reproductiva (Mosseler, 1995; Mosseler *et al.*, 2004) es fomentar el flujo genético entre poblaciones vecinas que se desarrollen en ambientes similares, lo que a su vez reduce problemas de adaptación (depresión exogámica).

Las poblaciones con ambientes similares pueden intercambiar genes por medio de la migración asistida, al realizar plantaciones de árboles con mayor posibilidad de adaptación en poblaciones vecinas, generando un aumento de la diversidad genética (Ledig *et al.*, 2000), lo que daría estabilidad a cada población a largo plazo, y una mayor posibilidad de adaptarse a cambios climáticos u otros factores de riesgo. El realizar movimientos de material genético entre poblaciones cercanas trata de contrarrestar los efectos del aislamiento geográfico, similar a lo que ocurriría de manera natural si no existiera la fragmentación actual. Estos análisis de agrupamiento ayudan también a definir condiciones ambientales donde la especie puede prosperar adecuadamente, como una estrategia de conservación *ex situ* (dinámica), a través de ensayos o plantaciones de conservación, además de proponer lugares adecuados para el establecimiento de plantaciones comerciales, como serían los árboles de Navidad.



Debido a las condiciones ambientales entre las dos zonas de poblaciones no sería recomendable transferir semilla o plantas entre ellas. Las poblaciones de la zona II se presentan a mayores elevaciones (2,750-3,400 m) que las de la zona I (2,450-2,960 m). Las localidades de Hidalgo tienen mayor temperatura media anual, de 11.7 a 15.0 °C (12.8 °C) que las de la zona II, de 8.9 a 12.2 °C (promedio de 10.9 °C). La precipitación media anual es menor en las poblaciones del estado de Hidalgo 611 a 763 (680 mm promedio) que en las de Tlaxcala y Puebla con 665 a 1,109 mm, (promedio de 811 mm anuales). De manera estricta, se sugiere realizar migración asistida sólo dentro de cada grupo de poblaciones, y se consideraría una estrategia conservadora para proponer un movimiento más cercano a lo natural, es decir simulando un proceso de flujo genético. Sin embargo, hay cuatro poblaciones que resultan únicas, ya que cada una de ellas representa un grupo distinto y, por tanto, tienen características exclusivas: Capula, Las Antenas, San José Capulines y Tlaxco. En ellas, la transferencia de semilla, de ser necesaria, sería un tanto riesgosa, especialmente para Capula, ya que resultó con la mayor distancia euclidiana para ligarse a las demás poblaciones en su zona.

Se recomienda evaluar la semilla de estas poblaciones en ensayos de campo (ensayos de procedencias) para comparar su capacidad de crecimiento y adaptación y hacer una delimitación más precisa de las zonas semilleras y grupos de poblaciones aquí propuestos. La zonificación definitiva con las procedencias adecuadas para las plantaciones *ex situ*, debe establecerse hasta que se hayan realizado estudios de procedencias, donde todas estas poblaciones sean evaluadas en ambiente común para determinar su nivel de adaptación y crecimiento.

La población de Morán es de interés particular por ser la población tipo que utilizó F. Flous para describir a *P. macrolepis*. A pesar de que se ha establecido que el pinabete en México pertenece a *P. menziesii* (Reyes *et al.*, 2005; 2006), es importante mantener y proteger cualquier localidad que representa parte del acervo genético de esta conífera, especialmente cuando estas poblaciones podrían representar variedades de la especie (Debreczy y Racz, 1995; Reyes *et al.*, 2006).

### 3.5 CONCLUSIONES

En la zona central de México se ubican 29 poblaciones de *Pseudotsuga menziesii* en los estados de Hidalgo, Tlaxcala y Puebla, con un estimado de 9,029 árboles adultos en 682 ha, que se distribuyen en dirección sureste-noroeste desde la parte oriente del estado de Puebla hacia la parte centro de éste, norte de Tlaxcala y hasta el sur de Hidalgo, sobre las partes altas de las montañas, en lugares con exposición preferentemente norte, en cañadas relativamente protegidas y de pendiente fuerte. Se ubican entre los 2,450 y 3,400 msnm, especialmente en bosques donde dominan especies de *Pinus* o *Abies religiosa* en los sitios más fríos, o especies de *Quercus*, particularmente en el estado de Hidalgo, donde hay zonas con mayor índice de aridez. El suelo tiene un pH ligeramente ácido y es de textura franca a franco-arenosa. La presencia de renuevos es escasa en la mayoría de las poblaciones estudiadas.

Por su similitud ambiental y cercanía geográfica las 29 poblaciones se agrupan en dos grandes regiones, las 11 del estado de Hidalgo (Zona I) y las 18 poblaciones de Tlaxcala y Puebla (Zona II). Se sugiere no mover semilla de la especie entre ambas zonas, para evitar riesgos de no adaptación. Dentro de cada zona se distinguen seis grupos con mayor afinidad ambiental, por lo que en sentido estricto sólo se sugiere mover semilla dentro de esos grupos de poblaciones. Sin embargo, cuatro grupos se integran con una sola población, por reflejar condiciones ambientales distintas que podrían implicar riesgos de adaptación si se introduce a ellas material de otras poblaciones.

**CAPITULO IV**  
**ANÁLISIS DE RIESGOS EN POBLACIONES DE *Pseudotsuga menziesii***  
**EN LA ZONA CENTRO DE MÉXICO**

**RESUMEN**

En la zona centro de México *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco se encuentra fragmentado en rodales pequeños y aislados. Con el propósito de estimar el grado de riesgo de extinción que presenta la especie, se recopiló información en campo, y mediante encuestas a los propietarios de la situación actual de las poblaciones existentes se identificaron 29 poblaciones de esta conífera localizadas en los estados de Hidalgo, Tlaxcala y Puebla. Se propusieron tres criterios que inciden de manera directa en el riesgo: antropogénico (el de mayor peso), genético y ecológico, con seis, cuatro y cuatro subcriterios, respectivamente. Se usó el Proceso de Análisis Jerarquizado (PAJ) para ordenar y ponderar la importancia de los criterios y subcriterios mediante una matriz de comparación por pares. Los resultados indican que existen niveles variables de riesgo para las poblaciones, de muy bajo a muy alto riesgo. Las poblaciones que presentan riesgo muy bajo, cuatro en total (Estanzuela, Presa Jaramillo, Peñas Cargadas y Plan del Baile), riesgo bajo (ocho) y riesgo medio (seis) son aquellas que se encuentran influenciadas en menor medida por factores ecológicos, genéticos y especialmente por antropogénicos (distancia promedio a vías de comunicación y/o poblados de 3.0 km, los poseedores se dedican en su mayoría al turismo (en las tres primeras) y agricultura (en la última). Las poblaciones que presentan un riesgo de alto a muy alto, seis y cinco (Vicente Guerrero, Morán, Minatitlán, La Garita y Tonalapa), respectivamente, se encuentran fuertemente influenciadas por factores antropogénicos (distancia promedio a vías de comunicación de 1.4 km y a poblados de 2.2 km, los poseedores se dedican mayormente a la agricultura), ecológicos (existencia de especies exóticas, repoblación natural nula o escasa) y genéticos (número promedio de árboles en edad reproductiva menor de 40, distancia promedio entre poblaciones mayor a 16 km; es decir, presentan aislamiento geográfico y la edad de los árboles son maduros a sobremaduros). Se recomienda realizar actividades de conservación *in situ*, priorizando su implementación en las poblaciones que presentan mayor riesgo, además de considerar la recolección de germoplasma y medidas de migración asistida con repoblación artificial en esas localidades.

**Palabras clave:** Abeto Douglas, análisis de riesgos, conservación de poblaciones, pinabete, Proceso de Análisis Jerarquizado (PAJ).

## ABSTRACT

*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco is found in small and isolated fragments in central Mexico. With the purpose of estimating the species extinction risk, field information was collected on the current situation of 29 existing *Pseudotsuga* populations in the Mexican states of Hidalgo, Tlaxcala and Puebla. Three criteria that directly define the risk level were proposed: anthropogenic (the most important), genetic and ecological; considering six, four, and four subcriteria for each criterion respectively. The analytical hierarchy process (AHP) was used to form a hierarchy of the problem and to weight the importance the criteria and subcriteria through pair wise comparison matrices. Risk levels for the *Pseudotsuga* populations were found from very low to very high risk. The populations with a very low risk (four), low risk (eight), and medium risk (six) are those that receive only minor influence from genetic, ecological, and mainly from anthropogenic, factors (average distance to roads and urban centers equal to 3 km, the holders devote themselves to the agriculture). The populations with high or very high risk, six and five, respectively, are strongly influenced by anthropogenic (average distance to roads and urban centers equal to 1.4 and 2.2 km, respectively), ecological (presence of exotic species, null or scarce natural regeneration), and genetic (average number of reproductive-age trees less than 40, average distance among populations equal to 16 km, in other words, in geographic isolation, and trees of age from mature to over-mature). It is recommended to realize *in situ* conservation activities prioritizing its implementation on the populations with the highest identified risk; it is also recommended to collect germoplasm from those populations to promote assisted migration and to artificially regenerate them.

**Key words:** analytical hierarchy process (AHP), Douglas-fir, risk analysis, population conservation.

## 4.1 INTRODUCCIÓN

El uso y aprovechamiento inadecuado de los recursos naturales están afectando a las especies forestales, a tal grado que actualmente algunas de ellas están en riesgo de extinción o amenazadas (CONABIO, 1998; Hakoyama *et al.*, 2000). Tal es el caso de *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco en la región central de México, cuyas poblaciones son pequeñas y fragmentadas. Esta situación se debe principalmente a factores antropogénicos como el cambio de uso de suelo, el sobrepastoreo, los incendios forestales, la colecta inapropiada de conos, la corta clandestina de árboles para la elaboración de madera y como ornamento para la navidad, así como a la presencia de plagas (Mápula *et al.*, 2007; Velasco *et al.*, 2007).

Las poblaciones mexicanas de *P. menziesii* por ubicarse en el extremo sur de su distribución natural (Hermann y Lavender, 1990; Mápula *et al.*, 2007) están expuestas a una mayor presión ambiental; lo anterior, que aunado a los factores antropogénicos mencionados, ha provocado una reducción en el tamaño de las poblaciones y en el número de individuos por hectárea de este árbol, así como una baja repoblación (Velasco *et al.*, 2007). Estos factores ocasionan una reducción en la diversidad genética y una baja capacidad reproductiva, como se ha encontrado en otras especies (Mosser *et al.*, 2000). La protección y manejo de cada población es importante para la recuperación de la especie, tanto para mantenerla naturalmente, como para el establecimiento de plantaciones comerciales, en particular con fines de producción de árboles de navidad. Ante esta problemática es importante establecer actividades de conservación *in situ* y *ex situ*. La primera enfocada a la conservación de los rodales en su hábitat natural, permitiendo con ello la continua evolución de la especie y la conservación completa del acervo genético.

Aunque existen métodos, como los empleados en la evaluación de impactos ambientales tales como matrices, redes, análisis de costo/efectividad/beneficio y modelaciones multidimensionales, pueden adaptarse para estimar el riesgo asociado a la permanencia de poblaciones (Cardona, 1991). Desafortunadamente, debido a la complejidad de los sistemas físico-ambientales hay un número considerable de variables que determinan el riesgo, por lo que la ciencia actual no cuenta con técnicas que permitan modelar con alta precisión dicho fenómeno. En términos generales el riesgo se define como la probabilidad de que ocurra algo, y siempre está asociado con posibilidades futuras, con eventos que perceptiblemente aún no han sucedido (Cardona, 1991; INE, 2003). En ciencia ambiental, el riesgo se

identifica como la probabilidad de que un individuo o una población sea sujeta a una mayor incidencia de efectos adversos por exposición a un peligro (INE, 2003).

En este estudio se analizan los riesgos que enfrentan las poblaciones de *P. menziesii* localizadas en su distribución natural en Hidalgo, Tlaxcala y Puebla ante la influencia de factores antropogénicos, genéticos y ecológicos. Con base en ello se determinaron prioridades para definir una estrategia de conservación de la especie en la región. El análisis se implementó en el marco de la metodología conocida como Proceso de Análisis Jerarquizado (PAJ)-AHP, Analytic Hierarchy Process (Saaty, 1980), la cual se basa en técnicas simples de Evaluación Multicriterio. Esta técnica ha sido utilizada con resultados apropiados para definir estrategias de mitigación de los riesgos (Díaz y López, 2000; Bustillos *et al.*, 2007; Olivas *et al.*, 2007; Wang *et al.*, 2009).

## 4.2 MATERIALES Y MÉTODOS

### 4.2.1 Caracterización socioeconómica de los centros de población donde se desarrolla *Pseudotsuga menziesii*

En los centros de población cercanos a donde se desarrolla *Pseudotsuga* se recopiló información de carácter socioeconómico con la finalidad de enfocar adecuadamente las acciones de protección, fomento y conservación directamente relacionadas con la especie. Se obtuvo: a) el régimen de propiedad de la tierra, b) la actividad económica principal de la población, c) la presencia de caminos y carreteras (acceso hacia los rodales), y d) la distancia a centros de población. Además, en cada comunidad se realizó una entrevista a los propietarios del bosque (en ejidos o comunidades se entrevistó a los representantes oficiales) para conocer su interés en la conservación de la especie. En especial se indagó sobre la existencia de Programas de Manejo Forestal autorizados por la SEMARNAT, si éstos contemplan a *P. menziesii*, y que acciones de manejo se han establecido de manera oficial, o bien, si hay reglas de manejo internas de los poseedores del recurso que impacten directa o indirectamente a la especie de interés.

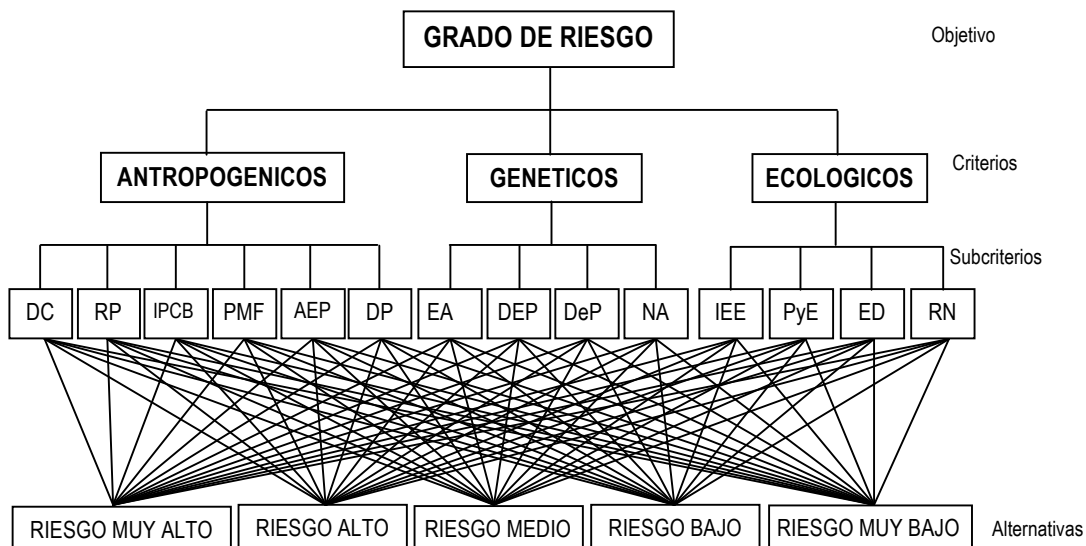
### 4.2.2 Proceso de análisis jerarquizado (PAJ)

El Proceso de Análisis Jerarquizado (PAJ) Malczewski (1999) es una metodología de análisis multicriterio desarrollada por Saaty (1980), que consiste en descomponer un problema complejo de decisión, en grupos y jerarquías simples mediante la construcción de un modelo jerarquizado que básicamente contiene tres niveles: meta u objetivo, criterios y alternativas (Figura 4.1). El procedimiento de PAJ incluye tres pasos importantes: el primero implica dividir el problema de decisión en una jerarquía compuesta de los elementos más importantes del mismo; el nivel más alto es la meta de la decisión. La jerarquía desciende entonces de lo general a lo más específico hasta alcanzar el nivel de atributos.

Una vez construido el modelo jerárquico y siguiendo el proceso de toma de decisiones, las preferencias o importancia que los tomadores de decisión otorgan a los criterios son comparados uno con otro en una matriz de comparación por pares (MCP). La solución de la MCP expresa la preferencia relativa entre criterios, generando una escala y atribuyendo valores numéricos a juicios subjetivos. En este caso se utilizó una escala para la comparación, que consta de valores que van del 1 al 9 para describir la preferencia o importancia entre criterios y subcriterios, donde el valor 1 expresa "igual importancia" y 9 "importancia extrema" de un criterio sobre otro (Saaty, 1980; Cuadro 4.1). Se consideraron tres criterios o

variables decisión: factores antropogénicos, ecológicos y genéticos, cada uno integrado por diferentes subcriterios, 14 en total (Figura 4.1).

La selección e importancia de los distintos criterios es variable, ya que ésta difiere no sólo del tipo de objetivo a alcanzar, sino también de acuerdo al criterio y conocimiento previo del fenómeno en estudio por parte del investigador o tomador de decisiones. Es fundamental exponer que los tres criterios utilizados en el análisis implementado en esta investigación no son exhaustivos; es decir, no se pretende con tales criterios cubrir todas las posibilidades de variabilidad de condiciones de riesgo tanto en la zona de estudio como en cualquier otra. Sin embargo, se considera que los criterios identificados son los más importantes para realizar una evaluación actual del riesgo de las poblaciones de la especie en la región de estudio.



**Figura. 4.1. Jerarquización del problema de decisión.** DC: Distancia a caminos; RP: Régimen de propiedad; IPCB: Interés por conservar el bosque; PMF: Programa de Manejo Forestal; AEP: Actividad económica principal; DP: Distancia a poblados; EA: Edad de los árboles; DEP: Distancia entre poblaciones; DeP: Densidad de la población; NA: Número de árboles en edad reproductiva; IEE: Introducción de especies exóticas; PyE: Plagas y enfermedades; ED: Especie dominante; RN: Repoblación natural.



Cuadro 4.1. Escala fundamental usada en la comparación por pares (Saaty, 1980).

Intensidad de importancia	Definición	Explicación
1	Igual importancia	Dos actividades contribuyen igualmente a lograr el objetivo
3	Moderada importancia	La experiencia y los juicios favorecen levemente una actividad sobre otra
5	Fuerte importancia	La experiencia y los juicios favorecen fuertemente una actividad sobre otra
7	Muy fuerte importancia	Una actividad es mucho más favorecida sobre la otra
9	Importancia extrema	La evidencia que favorece una actividad sobre otra es absoluta y totalmente clara
2,4,6,8	Valores intermedios entre los valores de escala	Cuando es necesario un término medio
Recíproco distinto a cero	Si se asigna el valor $a_{ij}$ al comparar la actividad $i$ con la actividad $j$ , entonces se asigna $a_{ji}=1/a_{ij}$ al comparar la actividad $j$ con la actividad $i$ .	Supuesto razonable

#### 4.2.3 Descripción de los criterios y subcriterios usados en el estudio

**4.2.3.1 Criterio antropogénico:** Considerando que la influencia humana en la zona boscosa impacta tanto de manera positiva como negativa (Brooks *et al.*, 2006) se incluyeron seis subcriterios:

*S1. Distancia a caminos:* Se determinó la distancia de los rodales (poblaciones de *P. menziesii*) a vías de comunicación, considerando que entre menor sea ésta, habrá mayor riesgo (Vergara y Gayoso, 2004). Se tomaron en cuenta los caminos principales de mayor acceso. Este dato se obtuvo con apoyo de la herramienta Measure del SIG ArcView 3.2 (Cuadro 4.2).

*S2. Régimen de propiedad:* Se considera que el tipo de propiedad existente (comunal, privada o ejidal) tiene una influencia en la conservación de las poblaciones. Se utilizó el supuesto de que el bosque recibe “ligeramente” mayor cuidado cuando es propiedad comunal, comparado con la propiedad privada (Cuadro 4.2).

Cuadro 4. 2. Valores estandarizados para los subcriterios utilizados para determinar el riesgo de 29 poblaciones de *P. menziesii*.

SUBCRITERIOS (S)					
Valor	S4	S7	Valor	S10	Valor
<b>S1</b>	<b>S4</b>	<b>S7</b>	<b>Valor</b>	<b>S10</b>	<b>Valor</b>
> 7.0	SI	Joven	1	> 800	1
4.1 - 7.0	Reglas de Uso	Maduros	3	401-800	3
2.1 - 4	NO	Sobremaduros	7	201-400	5
0.5- 2.0	<b>S5</b>	<b>S8</b>		51-200	7
< 0.5	Comunal	< 2	1	< 50	9
	Ejidal	2-5	3		
<b>S2</b>	Privada	5.1-10	5	<b>S11</b>	<b>S14</b>
> 5		10.1-30	7	SI	Buena
3.1 - 5.0	<b>S6</b>	> 30	9	NO	Escasa
1.6 - 3.0	Conservación				Nula
0.5 - 1.5	Turístico	<b>S9</b>		<b>S12</b>	
< 0.5	Silvicultura	< 10	7	NO	1
	Agricultura y ganadería	11-20	5	SI	7
<b>S3</b>		21-30	3		
SI		> 30	1		
NO					

S1: Distancia a centros de población (km); S2: Distancia a vías de comunicación (km); S3: Interés por conservar; S4: Programa de Manejo Forestal y/o reglas de uso del bosque; S5: Régimen de propiedad de la tierra; S6: Actividad económica principal; S7: Edad del arbolado; S8: Distancia a la población de *Pseudotsuga*; S9: Densidad de la población; S10: N° de árboles en edad reproductiva; S11: Introducción de especies exóticas; S12: Plagas y enfermedades; S13: *Pseudotsuga menziesii* es la especie dominante; S14: Repoblación natural.

S3. *Interés por conservar*: Este dato se obtuvo mediante una encuesta aplicada a los propietarios de las poblaciones de *Pseudotsuga*. Se calificó de la siguiente manera: Cuando en la población existe interés por conservar se asignó un valor de 1, si no existe tal interés se asignó un valor de 7 (Cuadro 4.2).

S4. *Programa de Manejo Forestal y/o reglas de uso del bosque*: El dato se obtuvo mediante una encuesta aplicada a los propietarios. Se calificó considerando que las poblaciones que cuentan con un Programa de Manejo Forestal aprobado por la SEMARNAT o bien reglas internas de manejo presentan mayor probabilidad de conservación, es decir menor riesgo de destrucción (se asignó un valor de 1 y 3 respectivamente). Las poblaciones que no cuentan con Programa de Manejo Forestal o con reglas internas, recibieron una calificación de 7 (Cuadro 4.2).

S5. *Actividad económica principal*: Se obtuvo de la visita directa a las poblaciones de *Pseudotsuga* y además de un cuestionario aplicado a los propietarios del bosque. Se consideró que las actividades que causan un mayor impacto al bosque son la ganadería (Granados *et al.*, 2007) y la agricultura (INE, 2007), un impacto intermedio si la actividad es silvicultura, y menor impacto o riesgo cuando la actividad económica principal es turística o de conservación.

S6. *Distancia a poblados*: Se realizó un análisis del trecho entre las localidades donde crece *Pseudotsuga* a los centros de población humana considerando que a mayor distancia de los centros de población hay menor riesgo de un posible saqueo de madera y/o material genético; contrariamente, mientras menor sea la distancia entre las poblaciones de *P. menziesii* y los centros de población humana, el riesgo es mucho mayor (Vergara y Gayoso, 2004).

**4.2.3.2 Criterio genético:** Una consideración general es que mientras mayor sea el acervo genético (*pool* genético) de las poblaciones, mayor será su probabilidad de continuar existiendo, ya que su variabilidad genética ayuda a adaptarse a cambios ambientales (Soulé, 1991; Primack, 1995). De forma contraria, una variabilidad genética reducida se asocia a mayor vulnerabilidad en caso de un cambio repentino en el ambiente, como una enfermedad, un nuevo depredador o algún otro cambio ambiental significativo. Para este criterio se consideraron cuatro subcriterios.

S7. *Edad estimada del arbolado*: Se obtuvo mediante un muestreo realizado en cada población (Capítulo 3). Si el arbolado es joven el riesgo disminuye, mientras que para una población sobremadura el riesgo aumenta, lo anterior con base en el vigor y capacidad reproductiva de los árboles (Cuadro 4.2). En trabajos previos se determinó la edad de algunos pinabetes asociado a la apariencia y dimensiones de los mismos (Velasco *et al.*, 2007). Así, se separaron en árboles jóvenes, maduros y sobremaduros (viejos). Se consideraron como jóvenes aquellos que no presentaban indicios de eventos reproductivos y como árboles maduros aquellos que presentaron conos o indicios de eventos reproductivos anteriores, independientemente de sus dimensiones. Se consideraron como individuos sobremaduros aquellos de grandes dimensiones cuyo vigor (crecimiento) es reducido y con menor producción de semillas.

S8. *Distancia entre poblaciones (aislamiento genético)*: Se consideró la distancia más cercana (km) a otra población de *Pseudotsuga*; se asume que a mayor distancia entre poblaciones, el riesgo es mayor. Lo anterior debido a que las poblaciones aisladas presentan un flujo de genes más limitado (Ledig *et al.*, 2000) y el aislamiento genético a la larga reduce la variabilidad genética. Esta distancia se obtuvo con apoyo de la herramienta Measure del SIG ArcView 3.2 (Cuadro 4.2).

S9. *Densidad de población*: Poblaciones con una densidad baja presentan un intercambio genético reducido, lo que genera una menor variabilidad genética y una baja capacidad reproductiva, ya que la densidad de polen será menor cuando existan pocos árboles de la especie. Este subcriterio se definió en función del número total de árboles presentes en la población. Poblaciones con densidades menores a 10 árboles por hectárea se consideraron en riesgo alto; por el contrario, poblaciones con densidades mayores a 30 árboles por hectárea se consideraron con riesgo bajo (Cuadro 4.2).

S10. *Número total de árboles en edad reproductiva*: Un número reducido de individuos (tamaño poblacional pequeño) aumenta el riesgo directo de extinción ante la presencia de un evento catastrófico como un incendio forestal que acabe con una población completa (Robledo, 2004). Además, una población pequeña presenta escaso flujo genético, aumentando con ello la endogamia, reduciendo la diversidad genética y el buen desarrollo en el proceso evolutivo de la especie.

**4.2.3.3 Criterio ecológico:** Este criterio enmarca cuatro subcriterios ligados al ambiente y a los organismos que co-habitan con *P. menziesii*, mismos que pueden afectar su funcionamiento y supervivencia.

*S11. Introducción de especies exóticas:* Las especies exóticas pueden desplazar a las especies nativas por la competencia por recursos (Primack, 1995). Este dato se obtuvo durante los recorridos de campo; se consideró que las poblaciones que presentaron indicios de la introducción de alguna especie arbórea exótica presentan mayor riesgo; si no hay presencia de exóticas el riesgo disminuye. En particular se observó reforestación con otras especies en algunos casos sin repoblación de árboles de *Pseudotsuga* (Cuadro 4.2).

*S12. Presencia de plagas y enfermedades:* Se evaluó la situación actual de sanidad en la que se encuentran los individuos de *Pseudotsuga*; si se presentaba evidencia de algún tipo de plaga o enfermedad se calificó a la población con un mayor nivel de riesgo; la ausencia de plagas y enfermedades implica no riesgo.

*S13. Especie dominante:* Las especies dominadas tienen mayores probabilidades de desaparecer por la competencia fuerte que les infringen las especies dominantes. Mediante el muestreo realizado en cada población (Capítulo 3) se determinó la dominancia de *Pseudotsuga*. El riesgo disminuye si ésta conífera es dominante; en una situación contraria el riesgo aumenta (Cuadro 4.2).

*S14. Repoblación natural:* Considerando que cuando hay repoblación natural se podrá mantener el rodal, mientras que cuando es escasa o nula el riesgo de desaparición aumenta. Se evaluó mediante un muestreo realizado en cada población (Capítulo 3), cuando hubo más de 30 brinzales de una altura de 50 cm se considero como repoblación buena, mientras que la cantidad era menor se considero como escasa (Cuadro 4.2).

#### 4.2.4 Construcción de la matriz de comparación pareada (MCP)

La construcción de la matriz de comparación por pares consistió básicamente en arreglar los criterios (tres) y subcriterios (14), colocando en el encabezado de cada columna y fila el nombre de cada uno de los criterios (Cuadro 4.3) y de los subcriterios (Cuadros 4.4, 4.5 y 4.6), siguiendo el mismo orden tanto en columnas como en filas. Posteriormente se procedió a comparar, un par a la vez de los criterios y subcriterios utilizando la escala definida por Saaty (1980) y presentada en el Cuadro 1. Una a una las celdas que componen las matrices fueron evaluadas comparando la importancia relativa del criterio (o subcriterio) de cada fila con relación a los criterios (o subcriterios) listados en las columnas de la matriz correspondiente; es decir, avanzando columna a columna, de izquierda a derecha. Únicamente es necesario “llenar” la mitad de la MCP debido al principio de reciprocidad definido como parte del procedimiento (ver última fila del Cuadro 1).

Por ejemplo, al evaluar (comparar) la importancia o contribución de los subcriterios *distancia a poblados* y *distancia a caminos* para estimar el riesgo de las poblaciones de *Pseudotsuga* se consideró que el subcriterio *distancia a poblados* es moderadamente más importante que el subcriterio *distancia a caminos* por ello se le asignó un valor de 5 (Cuadro 4.4, intersección de fila 6 y columna 2), en acuerdo con la escala utilizada (Cuadro 4.1): en el caso recíproco al comparar la *distancia a caminos* se consideró moderadamente menos importante que el subcriterio *distancia a poblados* (Cuadro 4.4, intersección de fila 2 y columna 6). De la misma manera se realizaron las comparaciones indicadas en los Cuadros 4.3, 4.4, 4.5 y 4.6).

#### 4.2.5 Cálculo de los pesos de los criterios y subcriterios por el PAJ (Proceso Analítico Jerarquizado)

Una vez evaluadas las MCP se procedió a “resolverlas”, es decir a estimar el peso o importancia de cada uno de los criterios y subcriterios considerados en el análisis. Para ello se utilizó el módulo WEIGHT implementado en el paquete de cómputo denominado IDRISI. La última columna de los Cuadros 4.3, 4.4, 4.5 y 4.6 reporta el peso o importancia para cada uno de los criterios y subcriterios definidos.

En paralelo a la solución de la MCP (cálculo de los pesos), el módulo WEIGHT calcula una medida cuantitativa de la consistencia (CI) asociada a las comparaciones pareadas de criterios y subcriterios. Este

factor de consistencia indica la probabilidad de que los valores indicados en la MCP hayan sido asignados aleatoriamente, lo cual sería inadecuado. Como regla general el valor de CI debe ser menor a 0.10. En las matrices construidas para el análisis todos los valores de CI resultaron inferiores a 0.10 (el valor asociado a cada matriz se registra en el pie de cada uno de los Cuadros 4.3, 4.4, 4.5 y 4.6), lo que indica que las comparaciones pareadas realizadas fueron adecuadas y consistentes (Eastman, 2003). Cuando los valores de CI resultan mayores a 0.10 es necesario reevaluar la matriz.

#### 4.2.6 Regla de decisión (integración) para el cálculo del riesgo de las poblaciones de *Pseudotsuga menziesii*

Los pesos estimados para cada uno de los criterios y subcriterios (Cuadros 4.3, 4.4, 4.5 y 4.6), fueron utilizados para ponderar los valores estandarizados (Cuadro 4.2) asociados a cada una de las poblaciones de *Pseudotsuga* en evaluación. Es relevante mencionar que previo a la evaluación, los valores estandarizados fueron normalizados (convertidos) a una escala de valores de 0 a 1 con la finalidad de facilitar la interpretación de los resultados. El cálculo del valor de riesgo para cada población se realizó mediante la integración (multiplicación) de los valores normalizados de los subcriterios con los respectivos valores de ponderación estimados para los mismos criterios y subcriterios. Finalmente, las estimaciones de riesgo se clasificaron en cinco categorías o grados de riesgo: muy bajo (valores de 0 a 0.24); bajo (valores de 0.25 a 0.27); medio (valores de 0.28 a 0.30); alto (valores de 0.31 a 0.34); y muy alto (valores mayores a 0.35).

Cuadro 4.3. Pesos relativos de los criterios utilizados para estimar el grado de riesgo de las poblaciones de *P. menziesii* en la zona centro de México.

<b>Criterios</b>	Antropogénico	Genético	Ecológico	<i>Peso del criterio</i>
Antropogénico	1	3	3	0.60
Genético	1/3	1	1	0.20
Ecológico	1/3	1	1	0.20

CI= 0.00

Cuadro 4.4. Pesos relativos de los subcriterios antropogénicos utilizados para estimar el grado de riesgo de las poblaciones de *P. menziesii* en la zona centro de México.

<b>Subcriterios antropogénicos</b>	RP	DC	IPCB	PMF	AEP	DP	<i>Peso</i>
RP	1	1/3	1/3	1/5	1/9	1/9	0.0301
DC	3	1	1	1/3	1/5	1/5	0.0689
IPCB	3	1	1	1/3	1/5	1/5	0.0689
PMF	5	3	3	1	1/3	1/3	0.1532
AEP	9	5	5	3	1	1	0.3394
DP	9	5	5	3	1	1	0.3394

CI=0.017; RP: Régimen de propiedad; DC: Distancia a caminos; IPCB: Interés por conservar el bosque; PMF: Programa de Manejo Forestal; AEP: Actividad económica principal y DP: Distancia a poblados.

Cuadro 4.5. Pesos relativos de los subcriterios genéticos utilizados para estimar el grado de riesgo de las poblaciones de *Pseudotsuga menziesii* en la zona centro de México.

<b>Subcriterios genéticos</b>	EA	DEP	DeP	NA	<i>Peso</i>
EA	1	1/3	1/5	1/7	0.0595
DEP	3	1	1/3	1/5	0.1279
DeP	5	3	1	1/3	0.3639
NA	7	5	3	1	0.4487

CI=0.031; EA: Edad de los árboles; DEP: Distancia entre poblaciones; DeP: Densidad de la población y NA: Número de árboles en edad reproductiva.

Cuadro 4.6. Pesos relativos de los subcriterios ecológicos para estimar el grado de riesgo de las poblaciones de *Pseudotsuga menziesii* en la zona centro de México.

<b>Subcriterios ecológicos</b>	IEE	PyE	ED	RN	<i>Peso</i>
IEE	1	1/3	1/7	1/7	0.0541
PyE	3	1	1/3	1/3	0.1431
ED	7	3	1	1	0.4014
RN	7	3	1	1	0.4014

CI = 0.003; IEE: Introducción de especies exóticas; PyE: Plagas y enfermedades; ED: Especie dominante y RN: Repoblación natural.



### 4.3 RESULTADOS

Cuatro de las 29 poblaciones evaluadas (13.8%) presentan riesgo muy bajo, las que son Estanzuela, Presa Jaramillo, Peñas Cargadas y Plan del Baile (Cuadro 4.7). Estas poblaciones se encuentran influenciadas en menor grado por factores antropogénicos, ya que la distancia promedio a los centros de población es de 3.0 km, la distancia promedio a vías de comunicación es de 3.0 km, y la actividad económica principal es el turismo en las tres primeras y agricultura en la última. Por otra parte, existe interés por parte de los propietarios en conservar la especie y los ejidos, dueños de los rodales, han establecido reglas de uso para el bosque. El arbolado de *Pseudotsuga menziesii* se presenta como especie dominante, libre de plagas y enfermedades, en edades de joven a maduro, y con repoblación natural de buena a escasa. La distancia promedio entre poblaciones de *Pseudotsuga* es de 4.0 km y el número promedio de árboles en edad reproductiva es de 540, mientras que la densidad poblacional promedio es de 23 árboles/ha.

El 27.6% de las poblaciones de *Pseudotsuga* presentan riesgo bajo, incluyendo a San José Capulines, Cañada el Atajo, Cruz de Ocote, Cuatexmola, El Salto, Villareal, Cápula y Buenavista (Cuadro 4.7). Dichas poblaciones se encuentran medianamente influenciadas por factores antropogénicos, ya que la distancia promedio a los centros de población es de 2.4 km, la distancia promedio a vías de comunicación es de 2.0 km, las actividades económicas principales son la agricultura y la silvicultura. Existe interés por parte de propietarios y ejidatarios por conservar la especie ya que el 50% de estas poblaciones presentan un Programa de Manejo Forestal y el resto son manejadas bajo reglas internas de uso del bosque. El arbolado de *P. menziesii* es joven, aunque algunas de ellas presentan plagas y enfermedades. En estas localidades el pinabete se presenta como la especie dominante, pero la repoblación natural es escasa; la distancia promedio entre poblaciones es de 6.4 km y el número promedio de árboles en edad reproductiva es de 383, mientras que la densidad poblacional es de 5 árboles/ha.

El 20.7% de las poblaciones de *Pseudotsuga* presentan riesgo medio, incluyendo a Tlaxco, Axopilco, San Juan, Barranca Canoita, Zapata y Cuyamaloya (Cuadro 4.7). Estas poblaciones están fuertemente influenciadas de manera negativa por factores antropogénicos y ecológicos. Se encuentran a una distancia promedio de 4.2 km a centros de población y de 3.3 km a vías de comunicación; la actividad económica principal es la agricultura. Existe interés por parte de los ejidatarios por conservar la especie ya que 50% de las poblaciones presenta Programa de Manejo Forestal y 50% presenta reglas de uso. El área

no presenta introducción de especies exóticas y el arbolado de *Pseudotsuga* se presenta libre de plagas y enfermedades. La edad estimada de *P. menziesii* es maduro, se presenta como especie dominante y la repoblación natural es de escasa a nula. La distancia promedio entre poblaciones vecinas es de 5.4 km, el número promedio de árboles en edad reproductiva es de 263 y la densidad poblacional es de 16 árboles/ha, en promedio.

El 20.7% de las poblaciones de *Pseudotsuga* presentan riesgo alto, las que son La Caldera, El Llanete, Apizaquito, La Rosa, Las Antenas y Tlalmotolo (Cuadro 4.7). Estas poblaciones están fuertemente influenciadas de manera negativa por factores antropogénicos y genéticos. Dichas poblaciones se encuentran a una distancia promedio a centros de población de 3.0 km, la distancia promedio a vías de comunicación es de 1.8 km, la actividad económica principal es la agricultura. El tipo de propiedad existente es la privada, donde un tercio de las poblaciones presentan Programa de Manejo Forestal, otro tercio presenta reglas de uso y el resto (33%) no presentan ningún tipo de normatividad. Un 50% de las poblaciones de pinabeto presentan evidencias de plagas y enfermedades. Aunque la edad estimada de *P. menziesii* es de joven a maduro, no se presentan como especie dominante y la repoblación natural es escasa. La distancia promedio entre poblaciones de *Pseudotsuga* es de 12.8 km, el número promedio de árboles en edad reproductiva es de 299 y la densidad de la población es de 12 árboles/ha, en promedio.

El 17.2% de las poblaciones de *Pseudotsuga* presentan un riesgo muy alto: Tonalapa, La Garita, Minatitlán, Morán y Vicente Guerrero (Cuadro 4.7). Estas poblaciones están fuertemente influenciadas de manera negativa por factores antropogénicos. La distancia promedio a centros de población es de 1.2 km, la distancia promedio a vías de comunicación es de 0.88 km, y la actividad económica principal es la agricultura. Cuatro poblaciones presentan un régimen de propiedad privada y una es propiedad ejidal; no presentan un Programa de Manejo Forestal. Aunque el arbolado de *P. menziesii* presenta una edad de joven a sobremadura y se encuentra libre de plagas y enfermedades, la repoblación natural es nula y no se presenta como especie dominante. En este grupo se encuentran las poblaciones más pequeñas (Morán, La Garita y Vicente Guerrero) con menos de 20 árboles; la población de Minatitlán cuenta con 45 árboles por ha, y Tonalapa con 166 en edad reproductiva. La densidad poblacional promedio es de 5 árboles por ha. La distancia entre poblaciones es mayor de 5 km. En estas localidades se han introducido especies exóticas a través de reforestaciones con diversas especies de pinos.

Un caso especial es la población de Morán, que presenta un riesgo muy alto. Este relicto de sólo 4 árboles es importante ya que es la población que Fernandine Flous (1934) asignó como población tipo para la descripción que realizó de *Pseudotsuga macrolepis*. Además, el dueño piensa eliminarlos debido a que los cuatro árboles se desarrollan muy próximos a su vivienda, y no le interesa la conservación de ellos.

Cuadro 4.7. Grado de riesgo que presentan las poblaciones de *Pseudotsuga menziesii* en la zona centro de México.

<b>Población</b>	<b>Valor</b>	<b>Grado de riesgo</b>	<b>Población</b>	<b>Valor</b>	<b>Grado de riesgo</b>
Estanzuela	0.15	RMB	Barranca Canoíta	0.29	RM
Presa Jaramillo	0.22	RMB	Zapata	0.30	RM
Peñas Cargadas	0.23	RMB	Cuyamaloya	0.30	RM
Plan del Baile	0.24	RMB	La Caldera	0.31	RA
San José Capulines	0.26	RB	El Llanete	0.32	RA
Cañada El Atajo	0.26	RB	Apizaquito	0.33	RA
Cruz de Ocote	0.26	RB	La Rosa	0.33	RA
Cuatxmola	0.27	RB	Las Antenas	0.33	RA
El Salto	0.27	RB	Tlalmotolo	0.34	RA
Villareal	0.27	RB	Tonalapa	0.36	RMA
Cápula	0.27	RB	La Garita	0.38	RMA
Buenvista	0.27	RB	Minatitlán	0.42	RMA
Tlaxco	0.28	RM	Morán	0.44	RMA
Axopilco	0.28	RM	Vicente Guerrero	0.45	RMA
San Juan	0.28	RM			

RMB: Riesgo Muy Bajo; RB: Riesgo Bajo; RM: Riesgo Medio; RA: Riesgo Alto; RMA: Riesgo Muy Alto.

#### 4.4 DISCUSIÓN

En la actualidad, la extinción de las poblaciones de diversas especies de su ambiente nativo es propiciado por diversos procesos, incluyendo la reducción y fragmentación del hábitat, la proliferación de enfermedades, el deterioro genético y la endogamia (Hakoyama *et al.*, 2000). En consecuencia, la extinción de especies además modifica y altera los procesos ecológicos en los que participan afectando a otras especies, lo que también ocasiona cambios en las comunidades y ecosistemas (INE, 2007). En el caso de las poblaciones estudiadas es evidente el efecto de la fragmentación y dispersión (distancia promedio entre ellas de 9.4 km), así como el tamaño poblacional de las mismas (de 4 a 1,450 árboles adultos, con un promedio de 307).

Se ha estimado que se requiere un tamaño de población de al menos 180 árboles para reducir los efectos negativos de la falta de polinización y de la endogamia para mantener la producción de semilla a niveles suficientes en especies de coníferas (O'Connell *et al.*, 2006). En varias de estas localidades se ha determinado una baja repoblación natural de *P. menziesii* (Velasco *et al.*, 2007), situación que se constató en los recorridos de campo en casi todas las poblaciones incluidas en este trabajo. Además, se ha detectado que las semillas tienen baja capacidad germinativa y presentan latencia primaria (Juárez *et al.*, 2006; Mápula *et al.*, 2008). El estudio de algunas poblaciones ha indicado un nivel reducido de diversidad genética (Cruz *et al.*, 2008).

Como en este estudio, en la mayoría de los casos la fragmentación del hábitat se debe a factores antropogénicos, sin embargo también es evidente el efecto acumulado de los otros factores como el ecológico y el genético. El análisis jerarquizado, realizado muestra claramente el efecto diferenciado de estos factores en términos de los riesgos actuales en cada población, lo cual es un avance importante para definir estrategias de conservación de la especie en la región.

En última instancia es factible afirmar que los factores de riesgo de *Pseudotsuga menziesii* en el área de estudio tienen su origen en la gran presión social que persiste sobre las poblaciones, ya que tanto los factores genéticos como los ecológicos se derivan de un proceso de fragmentación del hábitat de la especie, producto de cambios históricos en el uso del suelo para satisfacer las necesidades humanas en la región.

Una forma de recuperar la variabilidad genética para contrarrestar los efectos de la endogamia en la capacidad reproductiva (Mosseler, 1995; Mosseler *et al.*, 2000) es fomentar el flujo genético entre poblaciones vecinas que se desarrollen en ambientes similares, lo que a su vez reduciría problemas de adaptación (depresión exogámica). Poblaciones de ambientes similares pueden intercambiar genes por medio de la migración asistida, al realizar plantaciones de árboles con mayor posibilidad de adaptación en poblaciones vecinas, generando con ello un aumento de la diversidad genética (Ledig *et al.*, 2000), lo que daría estabilidad a cada población a largo plazo, y una mayor posibilidad de adaptarse a cambios climáticos u otros factores de riesgo. El realizar movimientos de material genético entre poblaciones cercanas trata de contrarrestar los efectos del aislamiento geográfico, similar a lo que ocurriría de manera natural si no existiera la fragmentación actual.

Con base en lo anterior, se recomienda que la conservación de las poblaciones de *Pseudotsuga* del centro de México se haga en el ambiente natural donde se ha desarrollado evolutivamente (conservación *in situ*), ya que esto permitiría conservar sus procesos de evolución natural, así como sus interacciones con otros organismos y los procesos ecológicos en que participan (Primack, 1995). Además, resulta menos costoso conservar los genes en condiciones naturales. Es claro que las cinco poblaciones detectadas con riesgo muy alto y las seis con riesgo alto, deben tener prioridad de este tipo de acciones de conservación, dada la posibilidad real de perder su acervo genético en caso de eventos extremos. Las poblaciones de riesgo medio y bajo podrían entrar con acciones de protección como prevención de pastoreo, control de plagas y otras acciones que prevengan o disminuyan los riesgos presentes.

Así mismo, la preservación *ex situ* puede considerarse como un recurso alternativo y/o complementario para el caso de las poblaciones con riesgo alto y muy alto, ya que ciertas emergencias ambientales, como los incendios forestales, pueden ponerlas en mayor riesgo (INE, 2007).

El método utilizado en el presente estudio resultó útil para el análisis y categorización de los riesgos de permanencia que presentan las poblaciones de *P. menziesii* en la región central de México, ya que facilitó el manejo cuantitativo de la información, con lo cual se da mayor validez y se minimiza la subjetividad del análisis y por ende la evaluación de los riesgos de las poblaciones. Este trabajo demuestra la utilidad de las técnicas de evaluación multicriterio (EMC) en la toma de decisiones con respecto a la determinación del grado de riesgo de las poblaciones de *Pseudotsuga menziesii* existentes en la zona de estudio, en este sentido el presente trabajo constituye un antecedente en estudios poblacionales.

## 4.5 CONCLUSIONES

Las poblaciones de Tonalapa, La Garita y Minatitlán del estado de Puebla, además de las poblaciones de Morán y Vicente Guerrero en el estado de Hidalgo, se encuentran en una situación de riesgo muy alto al estar fuertemente influenciadas por factores antropogénicos. Estas poblaciones son relativamente pequeñas (menos de 200 árboles) se encuentran muy cerca de los centros de población (menos de 1.5 km), y de las vías de acceso (menos de 1.0 km), y en terrenos donde la actividad agrícola es la actividad económica principal. Por el contrario, las poblaciones de Estanzuela, Presa Jaramillo, Peñas Cargadas y Plan del Baile se encuentran mejor conservadas y con riesgo muy bajo de extinción ya que tienen menores impactos humanos. Se encuentran a una mayor distancia de los centros de población y de las vías de comunicación (más de 3.0 km), en áreas donde las actividades de turismo son la actividad económica principal (en las tres primeras poblaciones) y agricultura en la última.

En general se encontró que de las 29 poblaciones estudiadas, once presentan altos niveles de riesgo de desaparición, seis en riesgo medio y las restantes presentan bajos niveles de riesgos, lo cual sugiere estrategias diferenciadas de conservación y protección para *Pseudotsuga* en el área de estudio.

El método de Análisis Jerarquizado, utilizado en el presente estudio resultó de utilidad para el análisis de riesgos que presentan las poblaciones de *Pseudotsuga menziesii* en la zona centro de México. A través del empleo de esta metodología se facilitó el manejo cuantitativo de la información, con lo cual se da mayor validez y se evita la subjetividad en el análisis.

## V. DISCUSIÓN GENERAL

En la zona centro de México, se ubicaron 29 poblaciones en los estados de Hidalgo, Tlaxcala y Puebla, con un estimado de 9,029 árboles adultos, en un total de 682 ha que se ubican desde 2,450 a 3,400 m s.n.m. La distribución natural de esta conífera indica una fuerte fragmentación, en una estructura similar a metapoblaciones (Mosseler, 1995), lo cual señala un alto nivel de aislamiento para la especie y sugiere un limitado intercambio genético entre estas poblaciones. La superficie promedio por población (25 ha) es baja, si se compara con las grandes extensiones de otras especies arbóreas de la región. El tamaño de las poblaciones varía de 4 a 1,450 árboles adultos; 11 de esas poblaciones tienen menos de 100 árboles sexualmente maduros, con una media de 311 y una mediana de 210 árboles.

Se ha estimado que se requiere un tamaño de población de al menos 180 árboles para reducir los efectos negativos de la falta de polinización y de la endogamia para mantener la producción de semilla a niveles suficientes en especies de coníferas (O'Connell *et al.*, 2006) y obtener una adecuada repoblación. En varias de estas poblaciones se ha determinado niveles altos de consanguinidad (Cruz *et al.*, 2008), lo que concuerda con una escasa producción de semillas (Mapula *et al.*, 2007), problemas para su germinación y crecimiento inicial (Agis *et al.*, 2007; Mápula *et al.*, 2008), así como una baja repoblación natural (Velasco *et al.*, 2007), lo que fue comprobado en casi todas las poblaciones incluidas en este trabajo. Una forma de recuperar variabilidad genética para contrarrestar los efectos de la endogamia en la capacidad reproductiva (Mosseler, 1995; Mosseler *et al.*, 2004) es fomentar el flujo genético entre poblaciones vecinas que se desarrollen en ambientes similares, lo que a su vez reduce problemas de adaptación (depresión exogámica).

Las poblaciones con ambientes similares pueden intercambiar genes por medio de la migración asistida, al realizar plantaciones de árboles con mayor posibilidad de adaptación en poblaciones colindantes, generando un aumento de la diversidad genética (Ledig *et al.*, 2000), lo que daría estabilidad a cada población a largo plazo, y una mayor posibilidad de adaptarse a cambios climáticos u otros factores de riesgo. El realizar movimientos de material genético entre poblaciones cercanas trata de contrarrestar los efectos del aislamiento geográfico, similar a lo que ocurriría de manera natural si no existiera la fragmentación actual. El análisis de agrupamiento realizado ayuda también a definir condiciones ambientales donde la especie puede prosperar adecuadamente, como una estrategia de conservación ex

*situ* (dinámica), a través de ensayos o plantaciones de conservación, además de proponer lugares adecuados para el establecimiento de plantaciones comerciales, como serían los árboles de navidad.

Por supuesto es recomendable que la conservación de las poblaciones de *Pseudotsuga menziesii* sea en el ambiente natural donde se ha desarrollado evolutivamente (conservación *in situ*), ya que también es importante preservar las interacciones de su genoma con el ambiente en que habitan, así como sus procesos de evolución natural (Primack, 1995); además resulta menos costoso conservar los genes en condiciones naturales. La preservación *ex situ* puede considerarse como un recurso complementario en el caso de emergencias ambientales que puedan poner en riesgo a las poblaciones naturales (INE, 2007). Sin embargo, debido a las condiciones ambientales entre las dos grandes zonas de poblaciones no sería recomendable transferir semilla o plantas entre ellas, sólo dentro de cada grupo y en algunos casos entre grupos como resulta cuando se trata de los cuatro grupos de una sola población. Se recomienda evaluar la semilla de estas poblaciones en ensayos de campo (ensayos de procedencias) para determinar su capacidad de crecimiento y adaptación, y hacer una delimitación más precisa de las zonas y grupos de poblaciones que se propusieron.

La metodología utilizada denominada Proceso de Análisis Jerarquizado en el presente estudio para el análisis de riesgos que presentan las poblaciones de *P. menziesii* resultó de utilidad. Con ello se facilitó el manejo cuantitativo de la evaluación con lo cual se da mayor validez y se minimiza la subjetividad del análisis y por ende la definición de las poblaciones con mayor riesgo. Este trabajo demuestra su utilidad en la toma de decisiones con respecto a la determinación del grado de riesgo de las poblaciones de *Pseudotsuga menziesii* existentes en la zona de estudio y es un antecedente en estudios de su tipo a nivel de poblaciones y no tan sólo de especie. Se recomienda realizar actividades de conservación *in situ*, priorizando en las poblaciones que presentan mayor riesgo, además de considerar la recolección de germoplasma y medidas de migración asistida con repoblación artificial e intercambiar material genético dentro de grupos, y ocasionalmente entre estos para restablecer el flujo génico y propiciar mayor variabilidad genética.



## VI. CONCLUSIONES GENERALES

En la zona central de México se ubican 29 poblaciones de *Pseudotsuga menziesii* en los estados de Hidalgo, Tlaxcala y Puebla, con un estimado de 9,029 árboles adultos en 682 ha, que se distribuyen en dirección sureste-noroeste desde la parte oriente del estado de Puebla hacia la parte centro de éste, norte de Tlaxcala y hasta el sur del estado de Hidalgo, sobre las partes altas de las montañas, en lugares con exposición preferentemente norte, en cañadas relativamente protegidas y de pendiente fuerte. Las poblaciones de *P. menziesii* se ubican entre los 2,450 y 3,400 msnm, especialmente en bosques donde dominan especies de *Pinus* o *Abies religiosa* en las poblaciones de zonas más frías, o especies de *Quercus* particularmente en el estado de Hidalgo, donde hay zonas con mayor índice de aridez. El suelo tiene un pH ligeramente ácido y es de textura franco a franco-arenosa. La presencia de renuevos es escasa en la mayoría de las poblaciones estudiadas.

Por su similitud ambiental y cercanía geográfica las 29 poblaciones se agrupan en dos grandes regiones, las 11 del estado de Hidalgo (Zona I) y las 18 poblaciones de Tlaxcala y Puebla (Zona II). Se sugiere no mover semilla de la especie entre ambas zonas, para evitar riesgos de no adaptación. Cada zona se conforma de seis grupos de poblaciones con mayor afinidad ambiental, por lo que en sentido estricto sólo se sugiere mover semilla dentro de esos grupos de poblaciones. Sin embargo, cuatro grupos se integran con una sola población, por reflejar condiciones ambientales distintas que podrían implicar riesgos de adaptación si se introduce a ellas material de otras poblaciones.

Las poblaciones de Tonalapa, La Garita y Minatitlán de Puebla; además de Morán y Vicente Guerrero, de Hidalgo, se encuentran en riesgo muy alto al estar fuertemente influenciadas por factores antropogénicos: a una distancia promedio de 1.2 km de centros de población, a 0.88 km a caminos y con agricultura como la actividad económica principal. Contrariamente, las poblaciones mejor conservadas (de riesgo muy bajo) son las que se encuentran menormente influenciadas por el ser humano: a una distancia promedio a los centros de población de 2.7 km, a una distancia promedio a vías de comunicación de 3.0 km, y con actividades de turismo como la actividad económica principal. El método conocido como Proceso de Análisis Jerarquizado, utilizado en el presente estudio, resultó de utilidad para el análisis de riesgos que presentan las poblaciones de *Pseudotsuga menziesii* en la zona centro de México. A través del empleo de esta metodología se facilitó el manejo cuantitativo de la evaluación, con lo cual se da mayor validez y se evita la subjetividad de análisis y elección.

## VII. LITERATURA CITADA

- Acevedo R., 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 Profesional. División de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Méx. 105 p.
- Acevedo R. R., J.J. Vargas H., J. López U., J. Velázquez M. 2006. Efecto de la procedencia geográfica y de la fertilización en la fenología del brote terminal en plántulas de *Pseudotsuga* sp. *Agrociencia* 40: 125-137.
- Agrobyte. 2008. Centro de Recursos Telemáticos. Disponible en: <http://agrobyte.com.lugo.usc.es/agrobyte/publicaciones/oregon/indice.html>. Fecha de consulta: 15/01/08.
- Allen, G.S. and J.N. Owens. 1972. The life history of Douglas-fir. Environment Canada Forest Service. Canada. 139 p.
- Álvarez M., J.G., I. Alía T., M.T. Colinas L., and S. Castellanos. 2007. Interspecific differences in postharvest quality on Mexican Christmas trees. *Silva Genética* 56:65-73.
- Brooks, T.M., R. A. Mittermeier, G.A.B da Fonseca, J. Gerlach, M. Hoffmann, J.F Lamoreux, C. G. Mittermeier, J. D Pilgrim and A.S.L Rodríguez. 2006. Global biodiversity conservation priorities. *Science* 313:58-61.
- Bustillos, J.A., J.R. Valdez L, A. Aldrete, y M.J. González G. 2007. Aptitud de terrenos para plantaciones de Eucalipto (*Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden): Definición mediante el proceso de Análisis Jerarquizado y SIG. *Agrociencia* 41: 787-796.
- Cardona, O.D. 1991. Evaluación de la Amenaza, la Vulnerabilidad y el Riesgo. Taller Regional de Capacitación para la Administración de Desastres ONAD/PNUD/OPS/UNDRO. Bogotá, Colombia. p. 3.
- Celis, M. 1996. Modelo de crecimiento en altura y curvas de índice de sitio para *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco. Tesis de grado. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Austral de Chile. Valdivia, Chile. 91 p.

- CONABIO. 1998. La diversidad biológica de México: Estudio de país. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México. 293 p.
- CONAFOR. 2007. Importación de árboles de navidad. *In*: Revista México Forestal, No. 53. En Línea. Disponible en: <http://www.mexicoforestal.gob.mx/index.php>. Fecha de consulta: 12/10/2007.
- Contreras A., R. 1992. Factores de mortalidad en conos de *Pseudotsuga macrolepis* Flous. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 68 p.
- Cordero, C. y E. Morales. 1998. Panorama de la biodiversidad de México. CONABIO (manuscrito).
- Clair, J.B., N.L. Mandel and K W. Vance-Borland. 2005. Genecology of Douglas fir in Western Oregon and Washington. *Annals of Botany* 96: 1199-1214.
- Cruz N., J., J.J. Vargas H., P. Ramírez V. y J. López U. 2008. Patrón de cruzamiento en poblaciones naturales de *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco, en México. *Agrociencia* 42: 367-378.
- Debreczy, Z. and I. Rácz. 1995. New species and varieties of conifers from Mexico. *Phytologia* 78: 217-243.
- Del Castillo, R.F., J.A. Pérez de la R., G. Vargas A. y R. Rivera G. 2004. Coníferas. *In*: Biodiversidad de Oaxaca. A.J. García-Mendoza, M. de Jesús Ordóñez y M. Briones-Salas (Eds). Instituto de Biología, UNAM-Fondo Oaxaqueño para la Conservación de la Naturaleza-World Wildlife Foundation. pp: 141-158.
- Diario Oficial de la Federación. 2002. Norma Oficial Mexicana NOM-059-ECOL-2001. SEMARNAT. Protección ambiental de 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. Marzo de 2002. México, D.F. 153 p.
- Díaz S. J., y J. López B. 2000. Evaluación potencial para acuacultura costera de camarón en el entorno de la laguna de mar Muerto, mediante la aplicación de técnicas de análisis multicriterio con un SIG. *Investigaciones Geográficas* 41: 62-80.
- Domínguez A., F.A. 1983. Una nueva localidad para *Pseudotsuga macrolepis* Flous. *Ciencia Forestal (México)* 8 (45):3-6.

- Dominguez A., F.A. 1986. Estudio ecológico de *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco, en la región de Huayacocotla, Ver. Tesis Profesional. División de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Méx. 266 p.
- Dominguez A., F.A. 1994. Análisis histórico-ecológico de los bosques de *Pseudotsuga* en México. INIFAP-CIR Golfo Centro. Folleto Técnico N° 23. 43 p.
- Dominguez, A. F.A., J.J. Vargas H., J. López U., P. Ramírez V., E. Guízar N. 2004. Caracterización ecológica de *Pseudotsuga menziesii* en Pinal de Amoles, Querétaro: nueva población natural en México. Anales del Instituto de Biología (UNAM) 75(2): 191-203.
- Eastman, J.R. 2003. IDRISI Kilimanjaro: Guide to GIS and Image Processing. Clark Laboratories, Clark University, Worcester. 328 p.
- FAO. 2007. Bosques tropicales y diversidad biológica: los riesgos de la pérdida y degradación de los bosques. En Línea. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/v5200s/v5200s0a.htm>. Fecha de consulta: 13/05/08.
- Farjon, A. 1990. Pinaceae: drawings and descriptions of the genera *Abies*, *Cedrus*, *Pseudolarix*, *Keteleeria*, *Nothotsuga*, *Tsuga*, *Cathaya*, *Pseudotsuga*, *Larix* and *Picea*. Koeltz Scientific Books. Konigstein, Germany. pp: 177-191.
- Flores V., O. y P. Gerez. 1994. Biodiversidad y Conservación en México: vertebrados, vegetación y uso de suelo. UNAM/CONABIO. 2da. Ed. México. UAM, Facultad de Ciencias. México. 463 p.
- Flous, F. 1934. Diagnoses d'espèces et variétés nouvelles de *Pseudotsuga américains*. Travaux du laboratoire Forestier de Toulouse. Tome I, Vol. 2, Art.VI. 18 p.
- García, E. 1973. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F. pp: 82-118.
- García M., H. 2002. Caracterización de hábitats de coníferas que ameritan protección en el estado de Hidalgo. Tesis de Licenciatura. División de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Mex. 256 p.
- Gentry, H.S. 1942. Río Mayo Plants. Carnegie Institution of Washington. Publ. 527. Washington, D. C. 316 p.

- Geological Survey U.S. 1999. Digital representation of "Atlas of United States Trees" by Elbert L. Little, Jr. On Line: <http://climchange.cr.usgs.gov/data/atlas/little/>. Accessed 27/11/2001.
- Granados S., D., G.F. López R., M.A. Hernández G. 2007. Ecología y silvicultura en bosques templados. Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente 13: 67-83.
- Guerra de la C., V. 2001. Stand structure and dynamics of isolated *Pseudotsuga* forest in Southern North America. Thesis Ph.D. Northern Arizona University. Flagstaff, Az. 92 p.
- Hakoyama, H., Y. Iwasa. and J. Nakanishi. 2000. Comparing risk factors for population extinction. Journal Theoretical Biology 204: 327-336.
- Hedlin, A.F., H.O. Yates III, D. Cibrián T., B.H. Ebel, T.W. Koerber and E.P. Merkel. 1981. Cone and seed of North American conifers. Canadian Forestry Service, United States Forest Service, Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, México, D.F. 122 p.
- Hermann, R.K. 1982. The genus *Pseudotsuga*: historical records and nomenclature. Special Publication 2a. School of Forestry. Forest Research Laboratory. Oregon State University. Corvallis, OR. 29 p.
- Hermann, R.K. and D.P. Lavender. 1990. *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco. In: R. Burns and B.H. Honkala (Tech. Cords). Silvics of North America. Vol. 1 Conifers. USDA Forest Service. Washington, D.C. pp: 557-540.
- Hermann, R.K. and D.P. Lavender. 1999. Douglass-Fir planted forests. New Forests 17: 53-70.
- Hernández, M.J., J. López U., J.J. Vargas H. y J. Jasso M. 2007. Zonas semilleras de *Pinus greggii* Engelm. en el estado de Hidalgo, México. Revista Fitotecnia Mexicana 30: 241-249 p.
- Hutchinson, M.F. 2004. ANUSPLINE version 4.3 user guide. Centre for Resource and Environmental Studies. The Australian National University, Canberra. 54 p.
- INEGI. 1988. Atlas del Medio Físico. Instituto Nacional de Estadística. Geografía e Informática. Aguascalientes, México. pp: 98- 99, 110-111, 128-126.
- INFOR-CONAF, CHILE. 1998. Monografía del pino oregón. Convenio INFOR/CONAF, Santiago, Chile. 143 p.
- Juárez, A.A., J. López U., J.J. Vargas H., C. Sáenz R. 2006. Variación geográfica en la germinación y crecimiento inicial de plántulas de *Pseudotsuga menziesii* de México. Agrociencia 40: 783-792.

- Ledig, F.T., M. Mápula L., B. Bermejo V., J.V. Reyes H., C. Flores L. and M.A. Capó A. 2000. Locations of endangered spruce populations in Mexico and the demography of *Picea chihuahuana*. *Madroño* 47: 71-88.
- Le Sueur, H. 1945. The ecology of the vegetation of Chihuahua, México, north to the parallel twenty-eight. The University of Texas Publication No. 4521. 92 p.
- Li, P. and W.T. Adams. 1989. Range-wide patterns of allozyme variation in Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii*). *Canadian Journal Forest Research* 19:149-161.
- Little, E.L. Jr. 1979. Checklist of United States Trees (native and naturalized). USDA For. Serv. Agriculture Handbook N° 541. 375 p.
- Martínez, M. 1963. Las Pinaceas Mexicanas. 3° edición. Instituto de Biología. Universidad Autónoma de México. México. D.F. 400 p.
- Martínez, M. 1979. Catalogo de nombres vulgares y científicos de plantas mexicanas. Fondo de Cultura Económica, México.
- Mápula L., M. 1995. Pruebas de germinación y evaluación del crecimiento inicial de *Pseudotsuga macrolepis* Flous en Chapingo. Tesis Profesional. División de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 91 p.
- Mápula L., M., J. López U., J.J. Vargas H. and A. Hernández L. 2007. Reproductive indicators in natural populations of Douglas-fir in Mexico. *Biodiversity & Conservation* 16(3):727-742.
- Mápula L., M., J. López U., J.J. Vargas H. y A. Hernández L. 2008. Germinación y vigor de semillas de *Pseudotsuga menziesii* de México. *Ra Ximhai* 4: 119-134.
- Martínez C., G., J. López U., J.J. Vargas H., J. Jasso M. y V. Guerra de la C. 2007. Indicadores de maduración en conos de *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco. *Revista Fitotecnia Mexicana* 30: 191-199.
- Malczewski, J. 1999. GIS and multicriteria decision analysis. John Wiley. Ontario, Canada. 392 p.
- Malczewski, J. 2004. GIS-Based land-use suitability analysis: A critical overview. *Progr. Planning* 62: 3-65.
- Mosseler, A. 1995. Minimum viable population size and the conservation of forest genetics resources. *In*: Tree Improvement: Applied Research and Technology Transfer. Science Publishers. Chap. 13. U.S.A. pp: 191-205.

- Mosseler, A., J.E. Major, J.D. Simpson, B. Daigle, K. Lange, Y.S. Park, K.H. Johnsen and O.P. Rajora. 2000. Indicators of population viability in red spruce, *Picea rubens*. I. Reproductive traits and fecundity. *Can. J. Bot.* 78: 928-940.
- Mosseler A., O.P. Rajora, J.E. Major and K.H. Kim. 2004. Reproductive and genetic characteristics of rare, disjunct pitch pine populations at the northern limits of its range in Canada. *Conservation Genetics* 5: 571-583.
- Mullins, E. and S. Mcknight. 1981. *Canadian Woods; Their properties and uses*. University of Toronto Press. Toronto, Búfalo y Londres. 389 p.
- Munsell Soil Color Charts. 1990. MacBeth Division of Kollmorgen Instruments Corporation. Baltimore, Maryland, USA.
- Nájera M., F. 1990. Estudio ecológico de *Pseudotsuga menziesii* var. *glauca* (Mayr.) Franco, en la Unidad de Administración Forestal "Tepehuanes". Seminario de Titulación. División de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 87 p.
- O'Connell, L.M., A. Mosseler and O.P. Rajora. 2006. Impacts of forest fragmentation on the reproductive success of white spruce (*Picea glauca*). *Canadian Journal of Botany* 84: 956-965.
- Olivas G., U.E., J.R. Valdez L., A. Aldrete, M.J. Gonzalez G. and G. Vera C. 2007. Áreas con aptitud para establecer plantaciones de maguey cenizo: Definición mediante análisis multicriterio y SIG. *Revista Fitotecnia Mexicana* 30: 411-419.
- Owston, P. W., W. I. Stein. 1974. *Pseudotsuga* Carr. Douglas-fir. *In: Seeds of Woody Plants in the United States*. Agriculture Handbook No. 450. USDA, Forest Service. Washington, D.C. pp: 674-683.
- Primack, R. 1995. *A Primer of Conservation Biology*. Sinauer-Sunderland. USA. 277 p.
- Rehfeldt, G.E. 2006. A spline climate model for western United States. General Technical Report 165, U.S.D.A., Forest Service, Rocky Mountain Research Station, Fort Collins, CO. 21 p.
- Reyes H., V.J., J.J. Vargas H., J. López U. and H. Vaquera H. 2005. Variación morfológica y anatómica en poblaciones mexicanas de *Pseudotsuga* (Pinaceae). *Acta Botánica Mexicana* 70:47-67.
- Reyes H., V.J., J.J. Vargas H., J. López U. and H. Vaquera H. 2006. Similitud fenotípica de poblaciones mexicanas de *Pseudotsuga* Carr. *Agrociencia* 40: 545-556.

- Robledo A., J.J., R. Alía. and L. Gil. 2004. Increased selfing and correlated paternity in a small population of a predominatly outcrossing conifer, *Pinus sylvestris*. *Molecular Ecology* 13: 2567-2577.
- Rzedowski, J. 1978. *Vegetación de México*. Limusa, México. 432 p.
- Rzedowski, J., L. Vela G. and X. Madrigal S. 1977. Algunas consideraciones acerca de la dinámica de los bosques de coníferas en México. *Ciencia Forestal* 1:15-35.
- Saaty, T.L. 1980. *The analytic hierarchy process*. McGraw-Hill. U.S.A. 269 p.
- Saccheri, I., M. Kuussaari., M. Kankare., P. Vikman., W. Fortelius., I. Hanski. 1998. Inbreeding and extinction in a butterfly metapopulation. *Nature* 392: 491-494 p.
- Sáenz R., C., R.R. Guzmán R. and G.E. Rehfeldt. 2006. Altitudinal genetic among *Pinus ocarpa* populations in Michoacán, Mexico: Implications for seed zoning conservation, tree breeding and global warming. *Forest Ecology and Management* 229: 340-350.
- Sala, O.E., F.S. Chapin, J.J. Armesto, E. Berlow, J. Bloomfield, R. Dirzo, E. Huber-Sanwelad, L.F. Huenneke, R.B. Jackson, A. Kinzig, R. Leemans, D.M. Lodge, H.A. Mooney, M. Oesterheld, N.L. Poff, M.T. Sykes, B.H. Walker, M. Walker and D.H. Wall. 2000. Global biodiversity scenarios for the year 2100. *Science* 287: 1770–1774.
- Sánchez, O., E. Vega, E. Peters R. and O. Monroy V. 2007. Conservación de ecosistemas templados de montaña de México. Sistema de publicaciones del Instituto Nacional de Ecología. En Línea. Disponible en: [http://www.ine.gob.mx/publicaciones/consultapublicacion.html?Id\\_pub=525](http://www.ine.gob.mx/publicaciones/consultapublicacion.html?Id_pub=525). Fecha de consulta: 10/06/09.
- Sanhueza, A., M. Bourke., H. Grosse., I. Chacón. and P. Alvarez. 1998. Cultivo del Pino Oregón. Programa de Diversificación Forestal. Corporación Nacional Forestal. Chile. 106 p.
- SAS Institute.1998. *SAS User Guide*. SAS Institute Inc., Cary, NC. 595 p.
- Shelton, M.G. and M.D. Cain. 2001. Dispersal and viability of seed from cones in tops of harvested loblolly pines. *Canadian Journal Forest Research* 31: 357-362.
- Sneath, P.H.A. and R.R. Sokal. 1973. *Numerical Taxonomy: the Principles and Practice of Numerical Classification*. San Francisco, Freeman. 573 p.



- Sorensen, F.C. and R.S. Miles. 1974. Self-pollination effects on Douglas-fir and ponderosa pine seed and seedlings. *Silvae Genetica* 23: 135-138.
- Soulé M. 1991. Conservation: Tactics for a constant crisis. *Science* 253: 744-750.
- Styles, B.T. 1993. Genus *Pinus*: a Mexican purview. *In*: P. T. Ramamoorthy, R. Bye, A. Lot, and J. Fa (eds.). Biological diversity of Mexico: origin and distribution. Oxford University Press, New York . pp: 397-420.
- Torres V., D. 2006. Evaluación de la regeneración natural de tres poblaciones de *Pseudotsuga sp.* en el estado de Tlaxcala. Tesis Profesional. Facultad de Agrobiología. Universidad Autónoma de Tlaxcala. Ixtacuixtla, Tlax.
- van Reeuwijk, L.P. 1999. Procedimientos para Análisis de Suelos. Trad. M.C. Gutiérrez C., C.A. Tavárez E. y C.A Ortiz S. Especialidad Edafología. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México. 145 p.
- Vázquez H., T. 2004. Caracterización ecológica de una localidad de *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco var. *glauca* (Beissn.) Franco, en el estado de Puebla. Tesis Profesional. División de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, México. 53 p.
- Velasco G., M.V., J. López. U., G. Angeles P., J.J. Vargas H. y V. Guerra de la C. 2007. Dispersión de Semillas de *Pseudotsuga menziesii* en poblaciones del centro de México. *Agrociencia* 41:121-131.
- Vergara, G. y J. Gayoso. 2004. Efecto de factores físico-sociales sobre la degradación del bosque nativo. *Bosque* 25(1): 43-52.
- Western Wood Products Association. 2002. Douglas fir & Western Larch. Published May, 2002. On Line: <http://www.wwpa.org/copyright.htm>. Accessed: 05/ 27/2002.
- Yañez E., L. 1991. Análisis de la producción de semillas en *Pseudotsuga macrolepis* Flous en una población natural de la Sierra de Pachuca, Hidalgo. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México.
- Zavala Ch., F. y J.T. Méndez M. 1996. Factores que afectan la producción de semilla en *Pseudotsuga macrolepis* Flous en el estado de Hidalgo, México. *Acta Botánica Mexicana* 36: 1-13.
- Wang, G. 2009. Landfill site selection using spatial information technologies and AHP: A case study in Beijing, China. *Journal of Environmental Management* 90: 2414-2421.

## VIII. ANEXOS

### Anexo 1. Encuesta aplicada a los propietarios de las poblaciones de *P. menziesii*

**1. ¿Conoce usted al pinabeto u oyamel rojo?**

- 1) Lo conoce muy bien
- 2) Lo ha visto ocasionalmente
- 3) No lo conoce

**2. ¿Es usted residente permanente en esta comunidad?**

- 1) SI
- 2) NO

**3. ¿Cuál es su actividad principal?**

- 1) Agricultura
- 2) Ganadería
- 3) Forestal
- 4) Otra (especifique) \_\_\_\_\_

**4. ¿Es usted ejidatario o comunal?**

- 1) Ejidatario
- 2) Comunal

**5. ¿Existe algún grupo u organización encargada del aprovechamiento y conservación del bosque?**

1. Si (especifique) \_\_\_\_\_
2. No
3. No sabe de ninguna
4. Lo realiza la comunidad

**6. ¿Les han mostrado algún Programa de Manejo Forestal?**

1. Si se los han mostrado
2. Saben que existe pero nunca se los han mostrado
3. No existe ningún Programa de Manejo Forestal

**7. ¿Dentro del documento existe un apartado que trate sobre la conservación del árbol?**

1. SI (especifique) \_\_\_\_\_
2. NO

**8. ¿La comunidad ha establecido condiciones para el uso del bosque?**

1. SI
2. NO

**9. Dígame las tres principales reglas que les han exigido**

\_\_\_\_\_

**10. ¿A quién pertenece el bosque?**

- 1) Comunal
- 2) Conseción
- 3) Ejido
- 4) Libre acceso

**11. ¿Cuál es el aprovechamiento que hace usted del bosque?**

- 1) Extraer leña
- 2) Hacer muebles
- 3) Doméstico
- 4) Otro (especifique)

**12. ¿Cuál es el aprovechamiento principal que le da la comunidad al bosque?**

- 1) Extraer leña
- 2) Hacer muebles
- 3) Doméstico
- 4) Turístico
- 5) Otro (especifique)

**13. ¿Considera usted que el bosque ha sufrido algún daño por los aprovechamientos que se realizan?**

- 1) Si
- 2) No
- 3) Parcialmente

**14. ¿Ha observado usted si estos aprovechamientos han disminuido la superficie del bosque?**

- 1) Hay más árboles de pinabeto que hace 20 años
- 2) Hay menos
- 3) No ha cambiado

**15. ¿Cuál es el aprovechamiento que considera usted que ha propiciado la desaparición del pinabeto?**

**16. ¿Qué tanto dependen del bosque? (la comunidad o familia)**

- 1) Poco
- 2) Más o menos
- 3) Mucho

**17. ¿Han considerado el aprovechamiento con fines turísticos?**

- 1) SI
- 2) NO

**18. ¿A usted le interesa conservar las poblaciones de *pinabeto*?**

- 1) SI
- 2) NO

**19. ¿Han existido problemas en la comunidad respecto al aprovechamiento del bosque?**

- 1) SI
- 2) NO