

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO FORESTAL



Condición de Salud de *Pinus cembroides* (Zucc.) en la Reforestación de Zapalinamé, Saltillo,
Coahuila

Por:

LUIS OMAR FLORES HERNÁNDEZ

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO FORESTAL

Saltillo, Coahuila, México.

Mayo 2016

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO FORESTAL

Condición de Salud de *Pinus cembroides* (Zucc.) en la Reforestación de Zapalinamé, Saltillo,
Coahuila

Por:

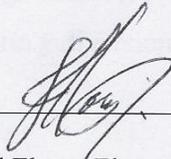
LUIS OMAR FLORES HERNÁNDEZ

TESIS

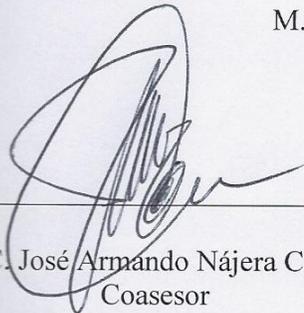
Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO FORESTAL

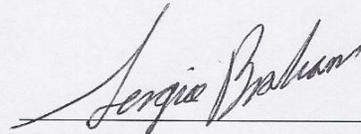
Aprobada por el Comité de Asesoría:



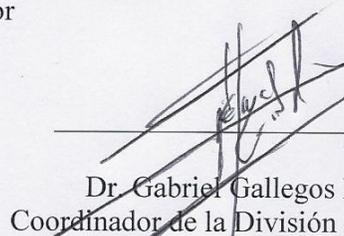
M.C. Jorge David Flores Flores
Asesor Principal



M.C. José Armando Nájera Castro
Coasesor



Ing. Sergio Braham Sabag
Coasesor



Dr. Gabriel Gallegos Morales
Coordinador de la División de Agronomía

Saltillo, Coahuila, México.

Mayo 2016

DEDICATORIA

A mis padres, Marcelino y Rosa María por todo el apoyo brindado pero sobre todo por haberme dado la vida y por ser un ejemplo a seguir.

A mis hermanos Misael, José Noel, María, José Eliezer y Andrés Oziel por su valiosa ayuda y apoyo moral durante estos cinco años lejos de casa.

A todos mis amigos y compañeros de carrera y generación con los cuales he vivido muchos momentos de alegría y diversión.

AGRADECIMIENTOS

A nuestra *Alma Terra Mater* por haberme dado la oportunidad y todas las facilidades para estudiar en sus instalaciones la carrera de Ingeniería Forestal.

A todos mis profesores del Departamento Forestal que de una u otra manera me ayudaron con mi formación académica, ética y moral.

A los miembros de mi comité asesor:

M.C. Jorge David Flores Flores

M.C. José Armando Nájera Castro

Ing. Sergio Braham Sabag

A mis más allegados amigos Luis Francisco, Adilene, Catalina, Mary Sánchez y Miguel Ángel por su amistad, solidaridad y todos esos momentos que pasamos juntos durante esta feliz estancia en nuestra *Alma Terra Mater*.

ÍNDICE DE CONTENIDO

	Pág.
DEDICATORIA.....	i
AGRADECIMIENTOS.....	ii
ÍNDICE DE CUADROS.....	v
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vi
RESUMEN.....	vii
ABSTRACT.....	viii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Importancia del tema.....	1
1.2 Problemática a estudiar.....	2
1.3 Objetivos.....	5
1.4 Hipótesis.....	5
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	6
2.1 Descripción de <i>Pinus cembroides</i>	6
2.2 Distribución natural de <i>Pinus cembroides</i>	7
2.3 Condiciones ambientales para su desarrollo.....	7
2.4 Fenología de <i>Pinus cembroides</i>	8
2.5 Usos del <i>Pinus cembroides</i>	9
2.5.1 Semillas.....	9
2.5.2 Madera.....	9
2.5.3 Árboles de navidad.....	9
2.5.4 Plantaciones.....	9
2.6 Factores limitantes para su desarrollo.....	10
2.6.1 Factores bióticos.....	10
2.6.2 Factores abióticos.....	13
2.7 Trabajos afines.....	15
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	20
3.1 Descripción del área de estudio.....	20

3.2	Sistema y método de muestreo.....	21
3.3	Tamaño de muestra e intensidad de muestreo.....	23
3.4	Variables observadas.....	24
3.5	Materiales y trabajo en campo.....	24
3.6	Evaluación morfológica del arbolado.....	27
3.7	Evaluación de daño por <i>Dasyneura sp.</i>	27
3.8	Evaluación de daño por <i>Retinia arizonensis</i> Mill.	27
3.9	Calificación y clasificación de la condición de salud del arbolado.....	28
3.10	Análisis estadístico: comparación de medias y prueba de hipótesis	29
3.11	Relación de las variables dasométricas con la condición general de salud mediante la correlación de Pearson.....	29
3.12	Vulnerabilidad del arbolado	30
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	33
4.1	Densidad de población	33
4.2	Estructura dasométrica y morfológica.....	35
4.3	Calificación y clasificación de la condición de salud.....	41
4.4	Análisis estadístico.....	45
4.4.1	Prueba de Welch y comparaciones en parejas de Games-Howell para los datos de calificación de salud.....	45
4.4.2	Prueba de hipótesis.....	48
4.5	Relación de las variables dasométricas con la calificación de salud.....	48
4.6	Grado de vulnerabilidad	49
V.	CONCLUSIONES	52
VI.	RECOMENDACIONES	53
VII.	LITERATURA CITADA.....	54

Í N D I C E D E C U A D R O S

	Pág.
Cuadro 1. Principales plagas de <i>Pinus cembroides</i> y su importancia.	12
Cuadro 2. Coordenadas geográficas y UTM de las áreas de estudio.	20
Cuadro 3. Datos generales de los transectos.....	22
Cuadro 4. Superficie muestreada e intensidad de muestreo para las áreas “B”, “C” y “D”	24
Cuadro 5. Valores para la estructura de copa y condición del fuste.....	27
Cuadro 6. Valores para evaluar el daño por <i>Retinia arizonensis</i> Mill.....	28
Cuadro 7. Ejemplo para determinar la condición de salud y su clasificación.	28
Cuadro 8. Parámetros de la correlación de Pearson.	30
Cuadro 9. Matriz de jerarquía analítica de Saaty (1980).....	31
Cuadro 10. Metodología Heurística para obtener el índice de vulnerabilidad.	32
Cuadro 11. Niveles de vulnerabilidad y rangos correspondientes.....	32
Cuadro 12. Densidades poblacionales de las áreas de estudio.	33
Cuadro 13. Valores medios de las variables dasométricas para las áreas de estudio.	36
Cuadro 14. Condición general de salud de las áreas de estudio.	45
Cuadro 15. Resultados de la correlación de Pearson para las variables dasométricas.	49
Cuadro 16. Resultados de la matriz de análisis jerárquico y metodología Heurística.....	50

Í N D I C E D E F I G U R A S

	Pág.
Figura 1. Mapa de ubicación geográfica de las áreas de estudio.....	20
Figura 2. Plano de diseño de muestreo del área “A”.....	22
Figura 3. Plano de diseño de muestreo de las áreas “B”, “C” y “D”.....	23
Figura 4. Anverso de la tarjeta para evaluar la densidad de copa y transparencia del follaje.	26
Figura 5. Reverso de la tarjeta para evaluar la densidad de copa y transparencia del follaje.	26
Figura 6. Mapa de distribución para la densidad poblacional en el área “A”.....	33
Figura 7. Mapa de distribución para la densidad poblacional en las áreas “B”, “C” y “D”....	34
Figura 8. Diámetros medios con intervalo de confianza al 95%.....	37
Figura 9. Alturas medias con intervalo de confianza al 95%.....	38
Figura 10. Coberturas de copa medias y su intervalo de confianza al 95%.....	39
Figura 11. Graficas de distribución porcentual para la condición de fuste.....	40
Figura 12. Gráficas de distribución porcentual para la estructura de copa.....	41
Figura 13. Estructura de copa uniforme (izq.) e irregular (der.) en <i>P. cembroides</i>	41
Figura 14. Principales daños causados por <i>R. arizonensis</i> en <i>P. cembroides</i>	42
Figura 15. Grafica de las calificaciones de salud medias.....	43
Figura 16. Grafica de los intervalos de confianza al 95% de las calificaciones de salud medias.....	43
Figura 17. Graficas de distribución porcentual para la condición general de salud.....	45
Figura 18. Grafica de las calificaciones de salud medias y su intervalo de confianza al 95%.....	46
Figura 19. Intervalos de confianza simultáneos al 95% de Games-Howell para las diferencias de medias.....	47
Figura 20. Mapa de distribución para el grado e índice de vulnerabilidad en el área “A”.....	51
Figura 21. Mapa de distribución para el grado e índice de vulnerabilidad en las áreas “B”, “C” y “D”.....	51

RESUMEN

Las reforestaciones suelen ser descuidadas después de establecidas, aumentando con ello su probable desaparición por falta de manejo y provocando que la gestión y trabajo llevado a cabo para su establecimiento sean al final en vano. El presente estudio se llevó a cabo con el objetivo de conocer la condición morfológica, la vulnerabilidad y la condición general de salud así como su relación con las variables dasométricas (diámetro a la base, altura y cobertura de copa) del arbolado de *Pinus cembroides* en la reforestación de Zapalinamé, Saltillo, Coah. La condición morfológica del arbolado se encuentra en un estado normal, manteniendo una proporción de arbolado con fuste recto y bifurcado natural. La vulnerabilidad se determinó considerando diversos factores que afectan a plantaciones y asignándoles valores acorde a su incidencia e importancia, encontrándose áreas con un grado de vulnerabilidad alta y media (predominantemente el grado alto). Por su parte la condición general de salud se determinó considerando el número de plagas presentes y el grado de daño provocado por estas previamente asignándoles un valor de ponderación de 0.3 y 0.7 respectivamente obteniendo valores entre 0 y 4 siendo los rangos: sano (0-0.50), regular (0.51-1.50), malo (1.51-2.50), severo (2.51-3.50) y muerto (3.51-4); el análisis mediante una prueba de signo para 1 muestra ($\alpha=0.05$) arrojó que las cuatro áreas de estudio no tienen una condición general de salud sano ($P=0.000$); tres áreas se encuentran con una condición de salud regular y una con condición mala. Las variables dasométricas se correlacionaron con la calificación de salud mediante una correlación de Pearson; los coeficientes de correlación no son significativos (R_{\max} fue de 0.352) como para que las variables dasométricas nos indiquen que el arbolado con ciertas características dasométricas tienen una determinada calificación y/o condición general de salud.

Correo electrónico; Luis Omar Flores Hernández, fohl900210@gmail.com

Palabras clave: *Pinus cembroides*, *Retinia arizonensis*, sanidad forestal, vulnerabilidad, reforestación, plagas forestales.

ABSTRACT

Reforestation often neglected after established, thereby increasing their likely disappearance for lack of management and management and causing the work carried out for its establishment are ultimately in vain. This study was conducted with the aim of knowing the morphological status, vulnerability and general health condition and its relation to forest variables (diameter at the base, height and canopy cover) woodland *Pinus cembroides* in reforesting Zapalinamé, Saltillo, Coah. Woodland morphological condition is in a normal state, maintaining a proportion of trees with a straight shaft and bifurcated natural. The vulnerability was determined considering various factors affecting plantations and assigning values according to their impact and importance, finding areas with high degree of vulnerability and a half (predominantly high grade). Meanwhile the general health condition was determined by considering the number of pests present and the degree of damage caused by these previously assigning a weight of 0.3 and 0.7 respectively obtaining values between 0 and 4 being the ranges: healthy (0 to 0.50), regular (0.51-1.50), bad (1.51-2.50), severe (2.51-3.50) and dead (3.51-4); analysis using a 1-sample sign test ($\alpha = 0.05$) showed that the four areas of study do not have a healthy overall health condition ($P = 0.000$); three areas are a regular health condition and one in bad condition. The forest variables were correlated with health rating by Pearson correlation; the correlation coefficients are not significant (R_{\max} was 0.352) and for the forest variables tell us that the trees with certain characteristics dasometric have a particular rating and / or general health condition.

Keywords: *Pinus cembroides*, *Retinia arizonensis*, forest health, vulnerability, reforestation, forest pests.

I. INTRODUCCIÓN

1.1 Importancia del tema

México es considerado como centro de especiación del género *Pinus*, destacando principalmente especies del grupo denominado de piñoneros (*P. cembroides*, *P. cembroides* var. *edulis*, *P. culminicola*, *P. edulis*, *P. maximartinezii*, *P. monophylla*, *P. nelsonii*, *P. pinceana*, *P. johannis*, *P. quadrifolia* y *P. juarezensis*) caracterizados particularmente por sus semillas sin ala. La mayoría de estas especies son de distribución restringida, salvo *P. cembroides* (Mondragón y Olayo, 1985).

El pino piñonero *Pinus cembroides* Zucc., es uno de los de mayor abundancia y distribución, se presenta al norte del Trópico de Cáncer, entre los 18° y 32° de latitud norte, desde el suroeste de los Estados Unidos de América hasta México, ubicándose los bosques más extensos en el centro-norte de México en los estados de Chihuahua, Durango, Coahuila, Nuevo León, Tamaulipas, Hidalgo y Zacatecas (Perry, 1991). Rzedowski (1978) señala que esta especie se desarrolla en altitudes de 1,800 a 2,800 msnm, sobre laderas secas y rocosas de zonas montañosas y lomeríos, donde el clima es templado seco hasta templado subhúmedo y es tolerante a la sequía. Malusa (1992) por su parte indica que la temperatura media anual donde hay presencia de *P. cembroides* es de 12 a 18 °C, con precipitaciones anuales entre 300 y 700 mm anuales.

Actualmente *Pinus cembroides* es de suma importancia para el campesino forestal, toda vez que de él obtiene importantes aprovechamientos tales como la comercialización del fruto o piñón, madera para construcción de viviendas, cercas, leña, venta de árboles para adorno, arbolitos de navidad entre otros (Díaz-Esquivel, 1985). Por otra parte, desde el punto de vista ecológico y social *P. cembroides* tiene gran importancia por ser la especie arbórea predominante en la región, ya que dependen de él una serie de elementos bióticos y abióticos que la caracterizan tales como la diversificación y abundancia de la fauna, los ciclos hidrológicos, mantos acuíferos, la conservación de suelos, áreas recreativas y el microclima general (Díaz-Esquivel, 1985 y Torres y Magaña, 2001).

Las plantaciones, al igual que otro tipo de ecosistemas, tienden a deteriorarse tanto por presiones humanas como por un sinnúmero de factores bióticos y abióticos de disturbio. Esto generalmente se debe a que en la mayoría de los casos es inespecífica y con muy poca diversidad de tamaños y edades, lo que trae como consecuencia una menor resistencia al ataque de patógenos o a los cambios climáticos bruscos. Tal deterioro provocado trae como consecuencia varios efectos tanto en la reducción de su productividad como en el incremento de la mortalidad y el empobrecimiento del ambiente. Esto último debido a que se alteran o interrumpen los mecanismos naturales de la población (Torres y Magaña, 2001). Es importante señalar que una reforestación es una plantación que implica la restitución del bosque en terrenos donde antes existía o aún existe en parte tal y como lo señala Cozzo (1995).

La Reforestación de Zapalinamé se encuentra dentro de la Sierra Plegada o Sierra de Zapalinamé, la cual es la principal fuente de abastecimiento de recursos naturales y servicios ambientales para la ciudad de Saltillo (CONAFOR, 2012). Fue establecida a principios de la década de los sesenta con el objetivo de recuperar la cubierta de los bosques de esta área, aunque inicialmente se utilizó *Pinus halepensis* que con los años no dio los resultados que se esperaban se ha venido sustituyendo poco a poco con *Pinus cembroides* que es la especie nativa y adaptada a las condiciones medio ambientales de la región (Oviedo, 1980).

1.2 Problemática a estudiar

Durante el Proceso de Montreal llevado a cabo en 1995 se acordó que la vitalidad y la buena condición de salud y/o sanidad forestal es uno de los siete indicadores para calificar la sustentabilidad de los recursos forestales, es decir, que los ecosistemas forestales deben de estar libres de plagas y enfermedades, o en su caso que estas estén bien reguladas por el manejo forestal. González (1997) señala que el concepto de salud forestal más que una condición es el resultado de múltiples interacciones entre los factores bióticos y abióticos que se reflejan en el equilibrio y funcionamiento de un ecosistema; es importante lograr este equilibrio no solo para el aprovechamiento de sus recursos, sino la permanencia de estos a largo plazo.

Desafortunadamente los bosques de *Pinus cembroides* se ven afectados por una serie de factores que tienden a su deterioro parcial o total; entre los cuales sobresalen los incendios forestales, desmonte para agricultura y obras públicas (cambio de uso de suelo), explotación irracional de su madera, pastoreo desordenado y la incidencia de plagas y enfermedades. Entre estas últimas tenemos las que atacan conos, semillas, follaje y fuste, impactando directamente en la regeneración del bosque (Díaz-Esquivel, 1985 y Martínez *et al.*, 1985). Si bien los insectos como plagas son los mismos que actuaban en cadenas tróficas y en la sucesión vegetal ahora contribuyen en su alteración de manera significativa debido a la modificación de su conducta y su fisiología. Por otra parte, muchas veces el establecimiento de vegetación mono específica da por resultado que se originen condiciones ecológicas especiales que ayudan al incremento de especies plaga (Muñiz, 1983).

Aunado a lo anterior es necesario señalar que el impacto del cambio climático también esté formando parte de estos factores de deterioro, pues en los últimos años se ha notado que en las comunidades donde se desarrolla el pino piñonero los mantos acuíferos han disminuido su capacidad de recarga, la temperatura en los meses más calurosos del año ha aumentado hasta 41°C, y la contaminación ambiental se ha hecho presente dada la instalación de un corredor industrial que liberan grandes cantidades de contaminantes aéreos asociados a la lluvia ácida. Por ejemplo la alta presencia del heno *Tillandsia recurvata* que llega a matar a los árboles de diferentes especies, pero principalmente a los piñoneros, es debido a la presencia de un ácido que es absorbido por *T. recurvata* y lo introduce con sus rizoides al árbol ocasionando la muerte de ramas y finalmente la muerte total del árbol (Martínez, 2014; Rentería, 2014).

Destacan las plagas forestales como uno de los principales agentes que alteran el estado fitosanitario, deterioro y destrucción de los bosques, lo que representa un grave peligro para el recurso por las pérdidas económicas y las consecuencias ecológicas a largo plazo (Castro, 1981 y Muñoz *et al.*, 2003). Esto se debe a que todas las partes de los árboles, flores, frutos, semillas, follaje, retoños, ramas, corteza, cambium y sistema radical, están expuestas a la acción de los insectos; por ejemplo los insectos defoliadores al alimentarse del follaje afectan

al arbolado al causarles pérdida de vitalidad, reducción del crecimiento y generalmente la muerte (Cibrián, 1985 y Arguedas, 2006).

Actualmente las plantaciones de *P. cembroides* establecidas en la Reforestación de Zapalinamé tienen alturas que van de los dos a nueve metros y a la fecha no se ha realizado ningún diagnóstico fitosanitario de estas plantaciones; los estudios en la literatura se han enfocado principalmente a arbolado de bosques naturales en otros lugares, en tanto que en la Reforestación de Zapalinamé los estudios se han centrado en *Pinus halepensis* (Flores, 2015, *com. pers.*).

En los estudios de *P. cembroides* en bosques naturales se ha encontrado una gran diversidad de plagas y enfermedades que afectan seriamente su renuevo y su vigor, causando grandes daños; tal es el caso de algunas especies de insectos como: *Conophthorus cembroides*, *Leptoglossus occidentalis*, *Cecidomya bisetosa*, *Eucosma franclemonti*, *Dioryctria albovittella* y *Dioryctria pinicolella*, los cuales afectan conos y semillas principalmente; *Retinia arizonensis* que afecta brotes y ramillas; *Dasyneura sp.* que afecta al follaje; e *Ips hoppingi* y *Dendroctonus valens* que afectan la corteza (Cibrián, 1985).

Si bien es cierto que las plagas constituyen uno de los principales problemas en los bosques y plantaciones también existen otros factores que los hacen más vulnerables. Se ha definido vulnerabilidad como el grado por el cual un sistema es susceptible o incapaz de enfrentarse a los efectos adversos de diversos factores y está en función de la sensibilidad del sistema y de su capacidad de adaptación (IPCC, 2002). En los bosques, la vulnerabilidad está asociada principalmente con los efectos del cambio climático: incrementos en la temperatura, cambios en las precipitación, aumento del nivel del mar, y el incremento en intensidad y frecuencia de eventos climáticos extremos que llevan al incremento de la variabilidad climática; tales cambios influyen a la vez en aspectos como la intensidad y frecuencia de los incendios, plagas, y enfermedades. Las plagas y el brote de enfermedades por ejemplo han cambiado, especialmente en los sistemas forestales y pueden estar vinculados a los cambios en el clima, sobre todo si consideramos que las poblaciones de estas están limitadas por las bajas temperaturas durante parte de su ciclo de vida; su presencia puede causar gran

mortalidad en especies de larga vida por lo que la recuperación puede tardar de décadas a siglos (IPCC, 2002).

1.3 Objetivos

Objetivo general

- Conocer la condición general de salud de las plantaciones de *Pinus cembroides* Zucc. en la Reforestación de Zapalinamé.

Objetivos específicos

- Identificar las principales factores bióticos y abióticos que afectan a *Pinus cembroides* dentro de la Reforestación de Zapalinamé.
- Determinar si existe relación entre las variables dasométricas con la calificación de salud del arbolado de *Pinus cembroides*.
- Conocer el grado de vulnerabilidad de *Pinus cembroides* en la Reforestación de Zapalinamé.

1.4 Hipótesis

- Ho. Las cuatro poblaciones de *Pinus cembroides* dentro de la Reforestación de Zapalinamé se encuentran en un estado de salud SANO (≤ 0.50).
- Ha. Al menos una de las cuatro poblaciones de *Pinus cembroides* dentro de la Reforestación de Zapalinamé no se encuentra en un estado de salud SANO (>0.50)

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Descripción de *Pinus cembroides*

El pino piñonero *Pinus cembroides* se caracteriza por ser un árbol de entre 5 y 15 metros de altura y diámetro generalmente de 0.30 metros. La corteza es cenicienta, delgada, agrietada y dividida en placas cortas e irregulares. El ramaje que presenta es ralo, especialmente en terrenos muy secos; las ramas comienzan a proliferar desde poca altura, las cuales son ascendentes y extendidas ya sea de manera verticilada o irregularmente a lo largo del fuste. Sus ramillas suelen ser café grisáceas, a veces cenicientas y de textura áspera, mostrando notablemente las cicatrices que dejan las acículas al caer.

La copa del *P. cembroides* tiende a ser redondeada o piramidal. Las acículas generalmente se disponen en grupos de tres, sin embargo existen fascículos que tienen 2, 4 y hasta 5; miden de 2.5 a 7 cm de largo, son rígidas y regularmente encorvadas, de color verde oscuro, algo azuloso pálido, incluso amarillento y casi siempre glaucas en las caras internas; de sección triangular presentando estomas en las tres caras.

Sus conos estaminados son globulosos, de color moreno rojizo, con escamas membranosas. Los conos ovulados suelen ser subglobulosos, presentando un diámetro de 5 a 6 cm, aislados o en grupos de hasta 5; son caedizos y casi sésiles de color moreno anaranjado o rojizo. Presentan pocas escamas, son gruesas en su extremidad y delgadas hacia los bordes; con umbo dorsal transversalmente aquillado, apófisis gruesa y piramidal con una pequeña punta caediza. Por lo regular solamente son fértiles las escamas de la parte media, frecuentemente con una semilla desarrollada y la otra abortiva.

Las semillas son ápteras, de color café negruzco y de testa dura. Son subcilíndricas con tendencia triangular; ensanchadas en la parte superior y reducida en su base, de 10 mm de largo. La almendra es rosada, de sabor agradable y un alto contenido en nutrientes.

Esta descripción de *P. cembroides* previamente señalada está basada en los trabajos de Martínez (1948) y Yáñez-Jiménez y García-Moya (1985).

2.2 Distribución natural de *Pinus cembroides*

Pinus cembroides es la especie piñonera que presenta la distribución más amplia, tanto en distribución superficial como en distribución altitudinal (1000-2800 msnm). Se le encuentra desde la frontera norte de México, en los límites con Arizona y Nuevo México hasta el centro de la república mexicana en Puebla y Veracruz (Rzedowski, 1978; Bailey and Hawksworth, 1987).

Es sabido que *Pinus cembroides* llega a formar masas puras en la Sierra Madre Oriental y la Sierra Madre Occidental, al norte del Trópico de Cáncer. Al norte del país se reporta en los estados de Sonora, Chihuahua, Durango y Coahuila (Sierra de Arteaga, Sistema montañoso Paila-Parras y Sierra de la Marta). En la Sierra Madre Oriental (vertiente occidental) se reporta desde Nuevo León hasta Tula y Miquihuana en Tamaulipas. En el centro del país está presente en San Luis Potosí (Sierra de Álvarez y San Miguelito), Zacatecas (Sistema Concepción del Oro-Mazapil), noreste de Jalisco, Guanajuato, Querétaro, Hidalgo, Puebla y Veracruz (Sierra de Zongolica); ubicándose generalmente en zonas de transición entre la vegetación xerófila de climas áridos y la boscosa de las montañas más húmedas (Robert, 1977; Rzedowski, 1978).

2.3 Condiciones ambientales para su desarrollo

Pinus cembroides crece sobre rocas volcánicas y rocas metamórficas, esto en la Sierra Madre Occidental, encontrándose de 1,700 hasta 2,500 msnm, mientras que Rzedowski (1978) lo reporta hasta los 2,800 msnm. Como bosque cambia lateralmente, pero no de manera altitudinal, a bosques de *Pinus engelmanni* y *Pinus chihuahuana*, esto en Ignacio Zaragoza (Chih.), donde estos dos tipos de bosques se encuentran a 2,250 m de altitud; en cambio más al sur, en el estado de Durango el cambio es altitudinal y ocurre a 2500 m de altitud. Al parecer, estos dos límites son de origen climático (Robert, 1977).

Esta especie prefiere el clima seco del Altiplano, ocupando con frecuencia la transición entre la vegetación semiárida de la Planicie Central y los bosques templados de las áreas

montañosas, lo que hace pensar que esta especie tiene un gran potencial adaptativo y resistencia en condiciones climáticas difíciles (gran amplitud térmica, heladas y precipitación anual muy variable); por ejemplo, de agosto de 1973 hasta finales de julio de 1974, hubo una gran sequía en el estado de Chihuahua, sobre todo de Majalca hasta Buenaventura, donde para agosto de 1974 había bosques enteros de *Pinus engelmanni* y *Pinus chihuahuana* ya secos, mientras que no se observaron árboles de *Pinus cembroides* secos en pie, lo que indica que es muy resistente a la sequía. Rzedowski (1978) indica que esta especie se desarrolla desde climas templados secos hasta templado subhúmedos; por otra parte, Malusa (1992) indica que el rango de temperatura para esta especie es de 12 a 18 °C y una precipitación de entre 300 y 700 mm anuales. Tales características lo colocan como un buen candidato para la reforestación de zonas secas y erosionadas de la República Mexicana y quizá en otras áreas de condiciones similares (Robert, 1977; Flores-Olvera, 1985; y Romero *et al.*, 1996).

2.4 Fenología de *Pinus cembroides*

Flores-Olvera (1983) encontró que *Pinus cembroides* presenta floración en los meses de mayo y julio. Los conos masculinos son subglobosos de color moreno rojizo, produciéndose en grupos de cuatro o cinco, principalmente en ramas inferiores y medias del árbol; comienzan a desarrollarse a principios de la primavera llegando a la madurez a finales de mayo y principios de junio. Una vez que han liberado el polen, las flores se marchitan y mueren. Las flores pistiladas o conillos se encuentran solitarios o en verticilos de tres a cinco en los extremos de las ramas en la parte media y superior del árbol.

La polinización se lleva a cabo exclusivamente por el viento y es influenciada, al igual que la receptividad de las flores femeninas, por la temperatura. Un cono maduro es subgloboso y casi sésil con pocas escamas (alrededor de 30 a 40); las escamas de la parte media son las que generalmente se hallan desarrolladas puesto que contiene las semillas fértiles, de las cuales por lo regular una se encuentra desarrollada y otra abortada en cada escama. La época de producción de semilla sucede al año siguiente después de la polinización, entre los meses de octubre y noviembre (Flores-Olvera, 1983).

2.5 Usos del *Pinus cembroides*

2.5.1 Semillas

Las semillas de *P. cembroides* son comestibles, por lo que son el producto de mayor recolección y comercialización. Su producción y colecta se presenta cada determinado periodo de tiempo, sin embargo cuando esta se presenta, los beneficios económicos son considerables si se toma en cuenta el breve periodo de la cosecha. Esto significa una importante fuente de ingresos para la población rural (Almaraz, 1992).

2.5.2 Madera

Aunque las propiedades anatómicas y físico-químicas están dentro del rango que muestran otras especies de pinos mexicanos, son sus características externas (diámetros y alturas no comerciales, fuste mal conformado y densa ramificación) las que limitan su aprovechamiento industrial. Actualmente la madera de *P. cembroides* se limita a las necesidades locales de leña u ocote (Wolf, 1985).

2.5.3 Árboles de navidad

Debido a su lento crecimiento *Pinus cembroides* requiere de largos periodos (15 años o más) para alcanzar la altura mínima (1.6 m) a fin de ser considerado para el mercado de los árboles de navidad (Tzanahua, 2006). A pesar de eso cuenta con características deseables como copa cónica, follaje abundante y de agradable olor, y retención del follaje hasta por unos meses después de ser cortado (Merlín y Prieto, 2002); razones por la cual es cultivado para tal fin en los estados de Durango y Nuevo León (SEMARNAP, 1999).

2.5.4 Plantaciones

Las plantaciones actualmente están enfocadas en reforestaciones, con fines de retención de suelo y recuperación de áreas degradadas especialmente en las zonas semiáridas, situación motivada principalmente por la resistencia la sequía por parte de *P. cembroides*. Por estas razones Ríos *et al.* (2008)

recomiendan tanto a *P. cembroides* como a *P. pinceana* en trabajos de reforestación extensivos en lugares semi-secos degradados en la Sierra Madre Oriental.

2.6 Factores limitantes para su desarrollo

2.6.1 Factores bióticos

2.6.1.1 Vertebrados

Generalmente los daños causados por los vertebrados son de escasa relevancia por el hecho de no causar daños graves e importantes como los causados por plagas, enfermedades, hongos y otros factores biológicos. Aun así, es necesario conocer los síntomas y daños causados por estos animales a fin de separarlos de los causados por otros agentes. A continuación se presentan algunos daños causados por vertebrados, tomados de Muñoz *et al.* (2003):

Aves. No causan daños directamente sobre el arbolado, pero si lo hacen indirectamente llegando a afectar cuando viven en zonas con presencia de muérdago o heno debido a que son su principal propagador ya sea por alimentarse de las bayas del muérdago y excretar, o bien por limpiar el pico (donde a veces llevan semillas pegadas debido a la viscina) en las ramas, donde las semillas quedan fijadas y dispuestas para su germinación.

Trepadores (ardillas y ratones). Los daños de estos animales se da principalmente sobre las piñas, en las cuales las roeduras son muy características debido al aspecto deshilachado que dejan al mordisquear las escamas para buscar los piñones. Del mismo modo, el ratón de campo se alimenta de piñas, dejando el raquis más pelado que la ardilla. En ambos casos, el peligro es para la repoblación del bosque. También se han dado casos de roeduras por ardilla en la corteza para posteriormente comer el cambium.

Lagomorfos. Estos animales pueden llegar a mordisquear la base de los troncos de varias especies arbóreas por encima de la superficie del suelo, llegando a anillar y matar los árboles, sobre todo cuando estos son jóvenes. Por lo regular esto sucede cuando el nivel poblacional es alto, la escasez de alimento es alta, y a veces por la concentración de abundante hierba alrededor de la base del tallo.

Ungulados. Estos animales al ser herbívoros se sirven también del ramoneo como forma de alimentación; en zonas de regeneración el daño suele tener mayor importancia. También llegan a ocasionar descortezamientos por roeduras y por el golpeo o frotamiento de las astas contra los troncos de los árboles.

Ganado. El daño por ganado es fácilmente detectable por las mordeduras en hojas, ramas y tallos; esto se da con mayor frecuencia cuando la hierba es escasa en época de sequía. Cuando la presión ganadera es muy alta suelen verse demasiados árboles achaparrados debido a la inhibición del crecimiento por parte del ganado, el cual se alimenta de las yemas apicales. En este sentido Rodríguez (2013) señala que la presencia de ganado caprino es un problema para la Reforestación de Zapalinamé ya que en un estudio respecto a la presencia de mamíferos encontró que el Índice de Abundancia Relativa para esta especie fue del 81.68%.

2.6.1.2 El ser humano

Muñoz *et al.* (2003) también señala que la consecuencia de trabajos silvícolas u otra índole realizados por las personas muchas veces ocasionan daños o heridas innecesarias en las plantas.

La tala llega a afectar a plantas de sombra y mediana sombra o daños sobre otros árboles al ser golpeados por los árboles talados. Las podas a veces llegan a ser abusivas provocando demasiadas heridas al árbol que lo llegan a debilitar y ser propenso al ataque por plagas y enfermedades. Daños por maquinaria, ya sea en el arrastre o desembosque de los productos, durante los cuales se llega a golpear los

troncos y raíces de los árboles que permanecen en pie, así como los daños colaterales producidos por el manejo inadecuado de herbicidas.

2.6.1.3 Plagas

Tanto Cibrián (1985) como Díaz-Esquivel (1985) señalan que los pinos piñoneros que se distribuyen en el país mantienen a una amplia diversidad de insectos que se alimentan de conos y semillas, yemas y brotes, follaje, floema, cambium y xilema. En el caso de *P. cembroides*, las principales especies que le afectan se presentan en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Principales plagas de *Pinus cembroides* y su importancia.

Especie	Importancia
<i>Conophthorus cembroides</i>	Es la principal plaga de los conos de pinos piñoneros debido a que los adultos atacan los conos dos veces: para hibernar y para reproducirse.
<i>Leptoglossus occidentalis</i>	Plaga muy importante de los conos y semillas por sus amplios rangos de hospederos y distribución geográfica.
<i>Cecidomyia bisetosa</i>	Plaga de regular importancia que ataca conillos.
<i>Eucosma franclemonti</i>	Plaga de conos que comen semillas y escamas; su importancia varía con la localidad y el tiempo.
<i>Dioryctria albobittella</i>	Sus larvas barrenan en conos y brotes sin embargo es una especie de menor importancia.
<i>Retinia arizonensis</i>	Plaga que barrena brotes y semillas provocando muerte de conos de las ramillas afectadas.

Especie	Importancia
<i>Dasyneura sp.</i>	Insecto agallador de acículas que provoca que estas mueran prematuramente; son de poca importancia.
<i>Ips hoppingi</i>	Descortezador adaptado a los pinos piñoneros que toma cierta importancia en condiciones de sequía.
<i>Dendroctonus valens</i>	Descortezador considerado de poca importancia; a veces puede matar árboles aparentemente sanos.
<i>Tillandsia recurvata</i>	Planta epifita sin raíces que afecta el desarrollo del árbol y que provoca su debilitamiento y muerte lenta y la de sus ramas (Matuda, 1957; Crow, 2000; Neumann, 2004 y Kamila, 2005).

2.6.2 Factores abióticos

Este apartado incluye las pérdidas ocasionadas por contaminantes y fenómenos naturales tales como el viento, caída de estróbilos ocasionadas por lluvias, perdidas de individuos por rayos, incendios, heladas y sequías como lo señala y describe Muñoz *et al.* (2003).

Sequía. Cuando esta época es severa y prolongada los efectos comienzan con marchitez, quema de hojas (fogonazo) o arqueado de los tallos jóvenes. El árbol se llega a debilitar a tal punto que algunos insectos perforadores y hongos oportunistas encuentran el caldo de cultivo idóneo para su reproducción masiva. Esto se origina debido a que la absorción de agua no compensa la transpiración, por lo que el árbol comienza a cerrar algunas estomas, pero si esto no es suficiente el árbol enrollará sus hojas, se desprenderá de casi todas, y si el nivel hídrico no se recupera, se producirá el marchitamiento generalizado por la pérdida de turgencia y finalmente la muerte descendente progresiva de la planta.

Heladas. Cuando las bajas temperaturas llegan a ser anormales suelen aparecer “fendas de heladura” que afectan radialmente a la corteza y a la madera de longitud y profundidad variable, llegando a provocar derrame de líquido en los primeros días; las fendas provocadas a veces llegan a ser colonizadas por bacterias oportunistas, sin embargo, es poco habitual. Así mismo, al formarse cristales de agua ésta ya no estará disponible para las funciones celulares aumentando con ello la concentración de sales y azúcares. Los brotes también se ven afectados cuando suceden heladas tardías, provocándoles el marchitamiento y posterior ennegrecimiento, teniendo que desarrollarse una nueva a partir de una yema inferior.

Granizo. Las granizadas en función de su intensidad, duración y tamaño de los granizos llegan a provocar daños considerables. Llegan a defoliar árboles completamente y después de suprimir la protección del follaje, producen heridas en las ramas y zonas del tronco con poco grosor de corteza que tardan varios años en cicatrizar. Por otra parte, los daños causados por el granizo facilitan la entrada, a través de heridas, de diversos patógenos.

Incendios. Cuando se producen incendios, sobre todo de copa, es casi seguro que se produzca la muerte de casi todas las plantas; si el fuego se presenta de manera superficial el follaje al no ser quemado se marchita, tornándose posteriormente de un color marrón y posteriormente sucede la caída de las hojas, así mismo sucede el calentamiento del sistema radicular, el cual el provoca deterioro e incluso la muerte de esas partes de la planta. Los árboles afectados por el fuego suelen ser colonizados posteriormente por hongos patógenos e insectos perforadores. Si bien estos daños dependen de la intensidad, severidad y duración del incendio los árboles que presentan corteza gruesa son los menos afectados.

Viento. El viento en función de su intensidad llega a provocar roturas de ramillas, ramas, troncos, arrancado o incluso tronchado de árboles completos. Los mayores destrozos por lo regular están asociados a vientos originados por los huracanes o grandes vendavales. En zonas de arbolado grande y con poca profundidad de suelo,

donde las raíces están muy extendidas y poco ancladas, se puede llegar a producir el efecto “dominó”, en el que un árbol al caer derriba a otro. Este deterioro también facilita la proliferación de insectos perforadores.

Rayos. Sus daños son fácilmente reconocibles por la hendidura o grietas que ocasionan desde la punta hasta la base del árbol. Dependiendo de su intensidad y la especie vegetal, puede ocasionar desde la muerte del árbol hasta una tenue grieta a lo largo del tronco. A la vez, el peligro está en que puede ser el origen de un incendio forestal. Es importante tomar en cuenta que un pino dañado por un rayo puede ser el inicio de un grupo de árboles colonizados y muertos por algunos insectos perforadores.

Contaminantes. Sus efectos dependen del tipo de contaminante y las condiciones del medio (suelo, clima y vegetación). Los contaminantes provocan el desequilibrio interno de la fisiología de la planta, la pérdida anormal y generalizada del follaje del arbolado, la alteración cromática de las hojas o acículas, crecimientos anormales o desordenados de la vegetación, el menor volumen del sistema radicular o la proliferación anómala de brotes adventicios o fructificaciones.

2.7 Trabajos afines

Cibrián (1985) señala que los pinos piñoneros que se distribuyen en México mantienen una amplia diversidad de insectos que se alimentan de conos y semillas, yemas y brotes, follaje, cambium, xilema y floema. Los insectos que más se asocian con *Pinus cembroides* son los siguientes: *Conophthorus cembroides*, *Leptoglossus occidentalis*, *Cecidomyia bisetosa*, *Eucosma fraclemonti*, *Dioryctria albobittella*, *Dioryctria pinicolella*, *Retinia arizonensis*, *Dasyneura sp.*, *Ips hoppingi* y *Dendroctonus valens*. Existen diversos estudios llevados a cabo en diversos lugares, tanto en plantaciones como en bosques naturales de *P. cembroides*, destacando los siguientes:

Flores *et al.* (2004) llevaron a cabo un diagnóstico de las plagas que afectan a los piñoneros y el grado de daño que les provocan, esto para seis comunidades de *P. cembroides*, *P. pinceana*, *P. culminicola*, *P. johannis*, *P. catarinae* y *P. ayacahuite*, en el sur de Coahuila. Se encontraron diversos insectos fitófagos tales como insectos raiceros, defoliadores, carpófagos, descortezadores y barrenadores de yemas y brotes. *P. cembroides* fue la especie que mayor número de plagas presentó (15 en total). Respecto a la mortalidad de conos fue nuevamente *P. cembroides* la especie mayormente afectada con un 93% de mortalidad; de ello el 67% a causa de las plagas, en tanto que el 26% se debe a caídas naturales o causas desconocidas. El resto de las especies tuvieron una mortalidad en conos del 49 al 85%, principalmente causados por *Conophthorus cembroides* y *Leptoglossus occidentalis*. Así mismo, en una evaluación tanto para *P. cembroides* como para *P. pinceana* afectados por *Retinia arizonensis* los resultados arrojaron que el daño fue mayor en *P. cembroides*, siendo un 80% de la plantación afectada y un 50% de mortalidad de las plantas afectadas.

Otro trabajo fue el realizado por la Procuraduría Ambiental y del Ordenamiento Territorial del D.F. (PAOT) en 2011 sobre el diagnóstico fitosanitario de la alameda oriente donde se encontró que el 79% del arbolado tiene un estado fitosanitario bueno, aunque la presencia de plagas (principalmente barrenadores y defoliadores) y enfermedades presentes está dada principalmente por la competencia entre el arbolado, falta de mantenimiento y riego, y la compactación y degradación del suelo por la gran cantidad de visitantes; el eucalipto y la casuarina fueron las especies arbóreas más afectadas. Un estudio similar llevado a cabo también en el Distrito Federal por Velasco *et al.* (2002) arrojó que el porcentaje de árboles plagados está entre el 8.9 y 18.5% mientras que para los árboles enfermos el rango comprende entre el 4.2 y 13.7%, siendo *Pinus hartwegii* la especie forestal más atacada tanto por plagas como por enfermedades, destacando dentro de las primeras la ardilla gris (*Sciurus sp.*) y dentro de las segundas una enfermedad foliar (*Lophodermium sp.*).

En relación a las plagas de conos y semillas Martínez *et al.* (1985) realizaron una evaluación y plan de manejo para *P. cembroides* en El Cardonal, Hidalgo. Encontraron que eran cuatro especies de insectos los que causaban la muerte de los conos: *Conophthorus edulis*, *Leptoglossus occidentalis*, *Contarinia sp.*, y *Retinia arizonensis*. En 15 meses

murieron 994 de los 1000 conos originalmente etiquetados para la evaluación, principalmente por *Conophthorus edulis* y *Leptoglossus occidentalis* con 62.0 y 30.3% de la mortalidad respectivamente. Recomiendan poner en práctica el control mecánico (colectar y quemar los conos infestados) y químico (Malathion 50%) para bajar las poblaciones de estos insectos separados por un periodo de 15 días para cada tipo de control.

Flores y López (1989) también realizaron un estudio referente a la producción de semillas y su relación con carpófagos en dos poblaciones de *P. cembroides*. Sus resultados indican que el lugar que presento mayor abundancia de conos fue el que presento un nivel de infestación más alto por *Conophthorus* mientras que el rodal con una oferta menor de conos mostro una tasa de infestación más baja. También se concluyó que no existe relación de la infestación por *Leptoglossus* con la exposición de la copa ni con la densidad de individuos por cono.

Por otra parte, en Miquihuana un trabajo realizado por Sánchez-Ramos *et al.* (2015) en bosque natural tuvo el objetivo de determinar la intensidad de daño de *Retinia arizonensis* en relación con algunos parámetros estructurales: diámetro del tallo, altura y cobertura de copa, así como en la regeneración natural en *Pinus cembroides* y *Pinus nelsonii*. El resultado arrojo que para *P. cembroides* hubo correlación marginal positiva para diámetro del tallo, altura y cobertura de copa, siendo los valores de $r^2 = 0.12$, 0.16 y 0.18 respectivamente y una correlación múltiple con valor para r^2 de 0.19 , considerada como altamente significativa; en el caso de *P. nelsonii* no hubo correlación significativa. En *P. cembroides* el 99% de las plantas presentaron algún grado de afectación, siendo en un 10.5% el daño promedio de sus brotes terminales. Sin embargo y a pesar de lo anterior la mayoría de los árboles afectados (83%) presentan menos del 17.7% de daño en sus brotes terminales.

Otro estudio realizado por Domínguez (2003) en el ejido Carneros en Saltillo encontró que para *P. cembroides* los daños por *Retinia arizonensis* se concentran en árboles cuya altura es menor de 1.5 m y cuyo diámetro es menor a 4 cm. Sus resultados arrojan que la condición de salud mejora para aquellos árboles con mayor diámetro y altura, concentrándose los mayores daños en árboles pequeños. También señala que la mortalidad del arbolado en pie es

a causa se severos y consecutivos ataques por años de *Retinia arizonensis* Mill., en tanto que los árboles desaparecidos son atribuidos a otros factores nocivos; con ello la mortalidad de la plantación fue de poco más del 36%.

También en un estudio similar llevado a cabo por Flores *et al.* (2001) referente a la evaluación de daños causados por *Retinia arizonensis* en una plantación de *P. cembroides* en Saltillo se llegó a la conclusión de que los árboles que registraron menor promedio en altura y diámetro corresponden a una clasificación de salud de Muy Mala, en tanto que los árboles con mayor promedio en altura y diámetro fueron para los árboles con una condición Muy Sana; lo anterior implica que los ataques por *Retinia arizonensis* afectaron significativamente el incremento potencial y el desarrollo normal de los árboles de *P. cembroides*.

Díaz (1987) también encontró que en la Sierra Juárez de Baja California existen diversos insectos que afectan a varias especies forestales, teniendo como uno de los problemas más críticos los daños de *Conophthorus sp.* en *Pinus cembroides*. Por otro lado, en general los daños son bajos en yemas y brotes para todas las especies, sin embargo las especies más atacadas fueron *Pinus quadrifolia*, *P. cembroides* y *P. coulteri* por *Vespamima sequoiae*.

Destaca también la importancia de la planta epífita *Tillandsia recurvata* comúnmente llamada heno motita tal y como la menciona Flores *et al.* (2009) en uno de sus trabajos en los cuales da a conocer la situación de esta planta parásita en el estado de Coahuila. Explica que *P. cembroides* es la especie más afectada y que si bien las podas ofrecen resultados muy satisfactorios para el combate de *Tillandsia recurvata* el proceso es más caro y complicado. También aplicó productos a base de cobre y otros como bicarbonato y cal viva, encontrando que estos deshidratan al heno motita, sin embargo la recuperación de esta epífita es notoria después de varios meses de haber aplicado tales productos.

Finalmente se destaca la importancia del Manejo Integral, esto debido a que Flores (1999) al comparar una parcela de *P. cembroides* a la que se le aplicó tratamiento integral con otra parcela sin tratamiento para ver los resultados en relación a insectos carpófagos

(*Phyllophaga sp.* y *Conophthorus cembroides*) encontró que con el tiempo la producción de semillas difiere entre ambas parcelas, aunque a veces la producción llega a emparejarse; señala que la producción de semillas llega a ser casi igual debido también al impacto que tienen las condiciones ambientales en los periodos reproductivos del pino piñonero. Sin embargo, y a pesar del Manejo Integral la mortalidad de conillos sigue siendo elevada, arriba del 76%. Rentería (2014) por su parte aplicó podas y aclareos a *P. cembroides* afectados por *Tillandsia recurvata* encontrando que el tratamiento más efectivo fue el de una intensidad intermedia ya que si se podaba y aclareaba de más o bien casi nada la re-infestación era mayor; según sus conclusiones esto debido a que si se liberaba más espacio se presentaban condiciones más favorables para la repoblación de *Tillandsia*, en tanto que si se liberaba espacio de manera poco significativa el efecto también resultaba poco favorable. Similares resultados encontró Martínez (2014) en el ejido Cuauhtémoc en Saltillo donde las podas y los aclareos al 75 y 30% respectivamente resultaban más efectivos que las podas al 100% o aclareo al 15%.

Muñiz (1983) también señala que las técnicas silvícolas pueden evitar el incremento y dispersión de los insectos plaga en el establecimiento de plantaciones; por ejemplo la revisión de una plantación y de un bosque para ir eliminando el arbolado que no va a tener oportunidad de un buen desarrollo evitara las probabilidades de incremento de plagas. Por ello también se deben de llevar a cabo revisiones frecuentes, para lo cual se pueden hacer programas de protección y de prevención.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Descripción del área de estudio

Dentro de la Reforestación de Zapalinamé se localiza el área de estudio (áreas A, B, C y D) en terrenos propios de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro y aledaños a ella como lo indican sus coordenadas (Cuadro 2); esto al sur de la Ciudad de Saltillo en Coahuila (Figura 1).

Cuadro 2. Coordenadas geográficas y UTM de las áreas de estudio.

ÁREA	Coordenadas Geográficas		Coordenadas UTM	
	N	W	N	E
A	25° 20' 0.46"	101° 1' 20.94"	2803410.00	296439.00
B	25° 19' 38.59"	101° 1' 35.42"	2802743.00	296024.00
C	25° 18' 59.37"	101° 1' 51.21"	2801543.00	295564.00
D	25° 19' 5.62"	101° 2' 16.74"	2801746.00	294853.00

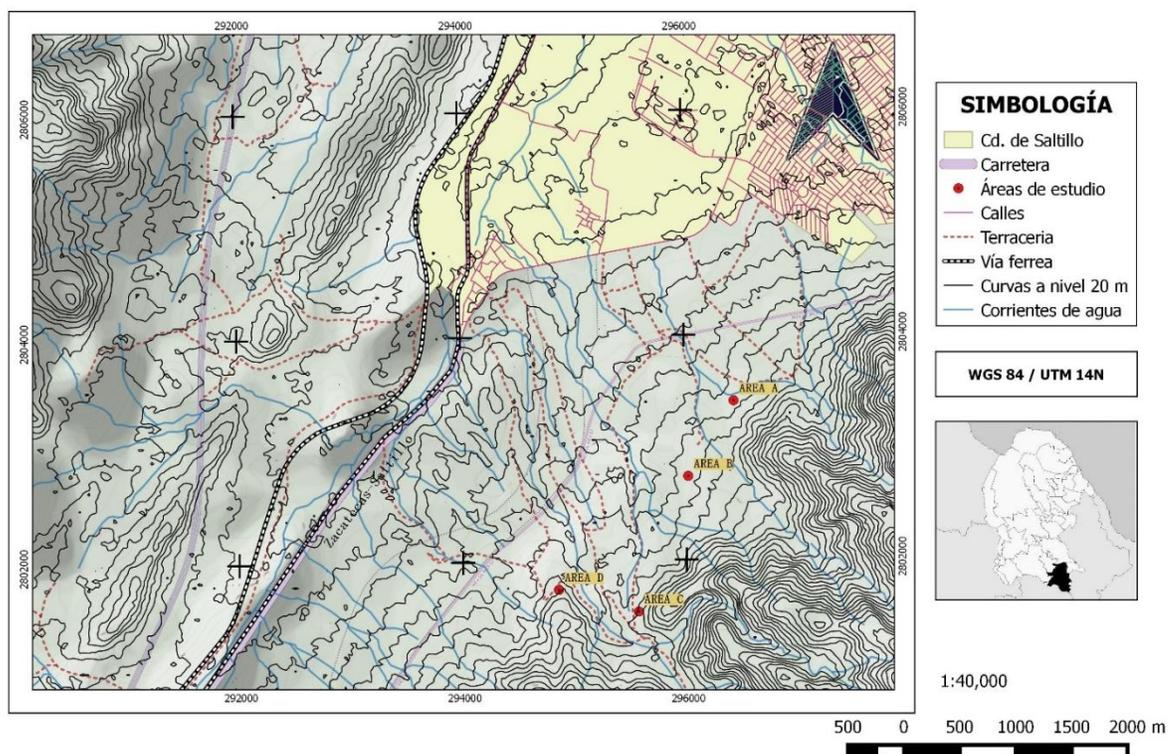


Figura 1. Mapa de ubicación geográfica de las áreas de estudio.

De acuerdo a la clasificación de Köppen, modificado por García (1973) se puede clasificar como BWhw (x') (e), lo que corresponde al clima semiárido mexicano con una precipitación anual de 420 mm que se presenta mal distribuida a través del tiempo; la temperatura media anual es de 18°C con grandes fluctuaciones alcanzando mínimas de hasta -17°C y máximas de hasta 38°C (CONAGUA, 2015).

El suelo es de tipo rendzina y litosol (INEGI, 1982a). Mientras que el tipo de geología comprende al tipo conglomerado y caliza (INEGI, 1982b). La vegetación natural predominante es de plantación forestal y de matorral desértico rosetófilo (INEGI, 1982c). La región hidrológica a la que pertenece el área de estudio es la denominada Río Salado (RH37) que comprende un 3.15% de la superficie estatal (INEGI, 1983).

3.2 Sistema y método de muestreo

Se evaluaron cuatro áreas con presencia de *Pinus cembroides*: “A” (42.3500 Has), “B” (1.2106 Has), “C” (1.4406 Has) y “D” (0.6684 Has).

Para el área “A” se utilizó un muestreo sistemático con punto inicial aleatorio (Figura 2). Los sitios de muestreo son de forma circular de 1,000 m² (r=17.84m). Estos sitios fueron distribuidos con ayuda del Quantum GIS 2.10.1 Pisa.

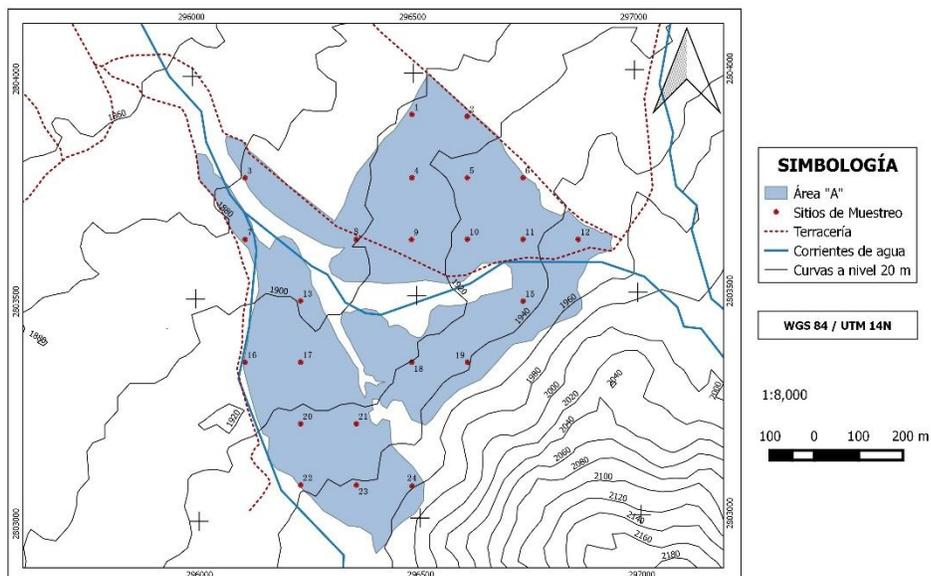


Figura 2. Plano de diseño de muestreo del área “A”.

Para los sitios “B”, “C” y “D” (Figura 3) que cuentan con menos de 1.5 hectáreas el muestreo del arbolado fue por medio de transectos, donde se muestrearon los árboles ubicados dentro de los transectos, los cuales tenían medidas de dos metros de ancho y longitud variable (Cuadro 3).

Cuadro 3. Datos generales de los transectos.

ÁREA	SUPERFICIE (HAS)	TRANSECTO (MTS*MTS)
B	0.6684	2*176
C	1.4406	2*230
D	1.2106	2*288

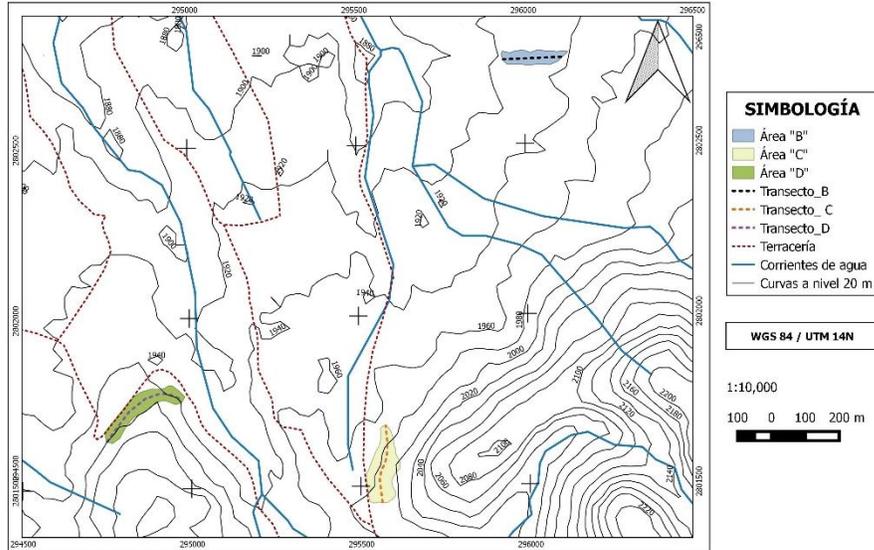


Figura 3. Plano de diseño de muestreo de las áreas “B”, “C” y “D”.

3.3 Tamaño de muestra e intensidad de muestreo

El tamaño de la muestra del área “A” se obtuvo de la siguiente manera considerando una intensidad de muestreo de 5.5%:

$$n = \frac{(IM)(A)}{Ts}$$

Dónde:

IM: Intensidad de muestreo (%)

A: Superficie del área (has)

Ts: Tamaño del sitio de muestreo (has)

Sustituyendo:

$$n = \frac{(0.055)(42.35)}{0.1} = 23 \text{ Sitios}$$

Para las áreas B, C y D los transectos fueron condicionados por la forma de cada área; considerando su forma alargada los transectos fueron lineares y no en zig-zag. La intensidad de muestreo está dada por la formula siguiente:

$$IM = \frac{AM}{A} * 100$$

Donde:

IM: Intensidad de muestreo (%)

A: Superficie del área (has)

AM: Superficie del área muestreada (has)

La superficie muestreada y la intensidad de muestreo para estas áreas se presenta a continuación en el Cuadro 4.

Cuadro 4. Superficie muestreada e intensidad de muestreo para las áreas “B”, “C” y “D”.

ÁREA	SUPERFICIE (HAS)	TRANSECTO (MTS*MTS)	ÁREA MUESTREADA (HAS)	INTENSIDAD DE MUESTREO (%)
B	0.6684	2*176	0.0352	5.3
C	1.4406	2*230	0.0460	3.2
D	1.2106	2*288	0.0576	4.8

3.4 Variables observadas

Las variables cuantitativas a medir son: diámetro a la base, altura, cobertura de copa y la densidad del follaje. Las variables cualitativas a evaluar son: la condición del fuste, estructura de la copa, numero de plagas observadas e intensidad del daño.

3.5 Materiales y trabajo en campo

Para llevar a cabo el trabajo en campo se contó con una brigada compuesta por tres personas, la cual irá equipada con un mapa de los sitios a muestrear, un GPS Garmin que

incluye las áreas, los sitios y los transectos de muestreo, una cinta diamétrica, una cinta métrica de 30 metros, clinómetro, formatos de registro, la tarjeta para evaluar densidad de copa y transparencia de follaje, frascos, brújula Suunto, alcohol al 70%, pinzas para podar, calculadora, cámara fotográfica, bolsas de papel y pintura en aerosol.

En el área “A”, una vez localizados los sitios mediante el GPS se procedió a marcar el centro y evaluar o en su caso medir las variables cuantitativas y cualitativas de los árboles dentro del sitio. En las áreas “B”, “C” y “D”, se siguió el transecto marcado en el GPS; se evaluaron los árboles que entraban dentro del transecto, el cual tenía una anchura de 2 metros, también fueron marcados con pintura para diferenciarlos.

González (1997) también señala varios estudios para evaluar la salud de una masa forestal o de un árbol individual ciertas características fisonómicas como son: la densidad de copa, transparencia del follaje, los daños en el fuste, la presencia de plagas o enfermedades, entre otros; son buenos indicadores de la perturbación ambiental y del grado de salud del arbolado. Se utilizó el manual de Alvarado y Saavedra (2012) para evaluar la condición de copa, así como el manual básico de métodos de muestreo de Mostacedo y Fredericksen (2000). También se recolectaron muestras de insectos y ramillas afectadas por estos a fin de identificarlos plenamente; en el caso de la densidad del follaje, esta se midió utilizando la “tarjeta para evaluar la densidad de copa y transparencia del follaje” la cual consiste en comparar el follaje de cada árbol con los parámetros que vienen en la tarjeta (Figuras 4 y 5).

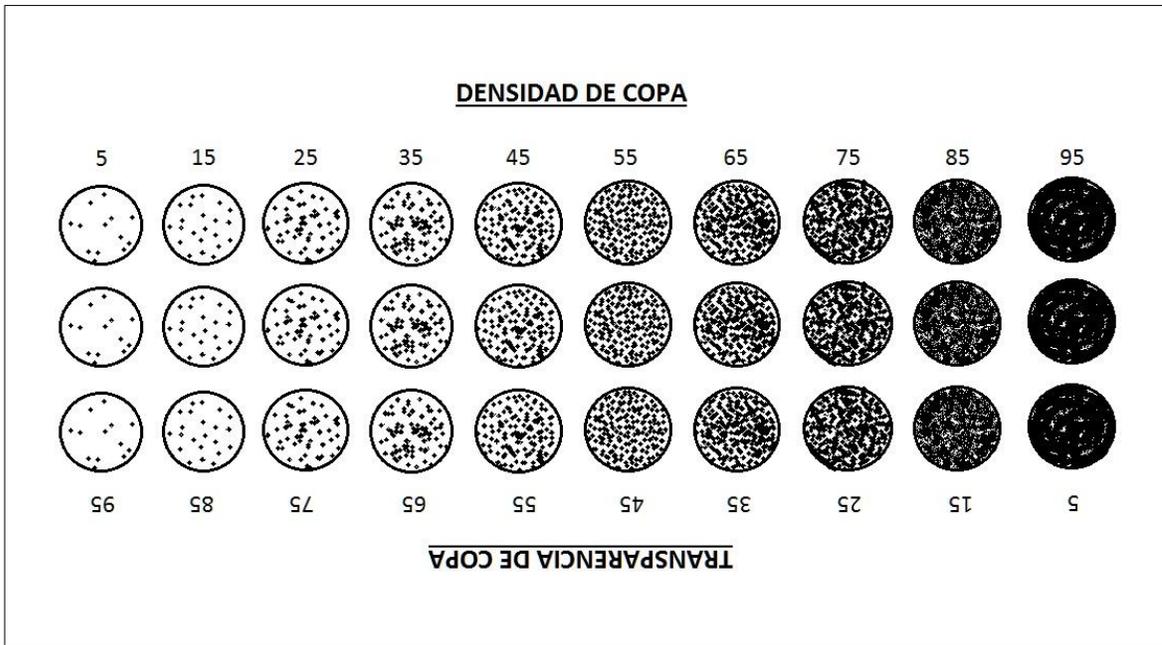


Figura 4. Anverso de la tarjeta para evaluar la densidad de copa y transparencia del follaje.

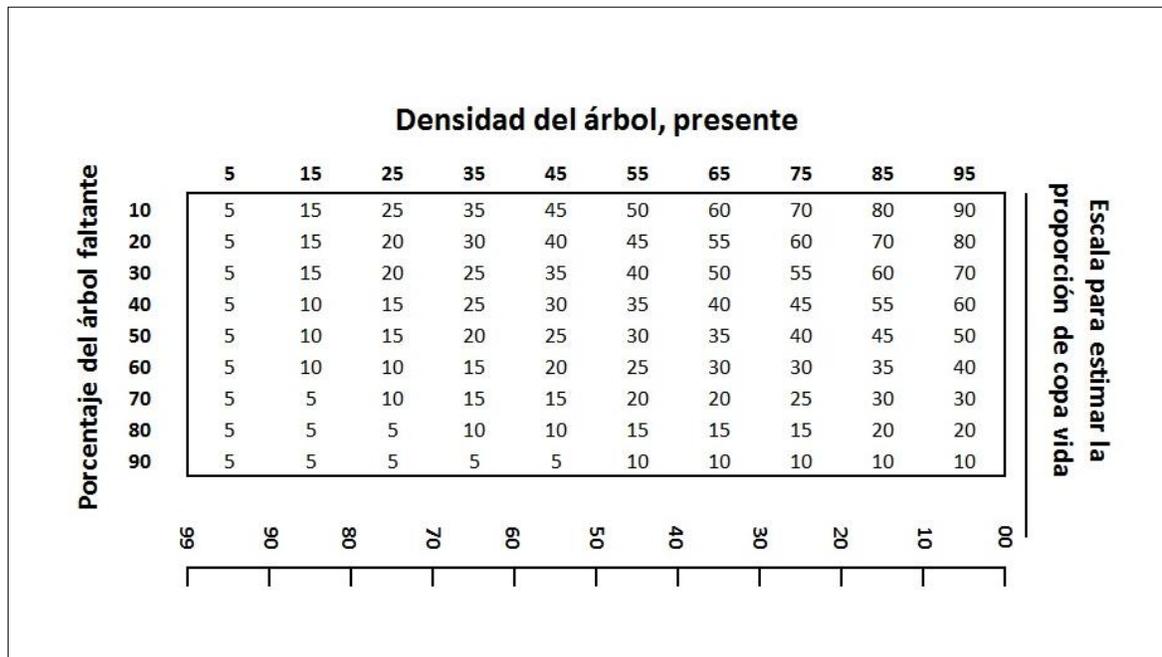


Figura 5. Reverso de la tarjeta para evaluar la densidad de copa y transparencia del follaje.

3.6 Evaluación morfológica del arbolado

Para la evaluación morfológica del arbolado solamente se consideró la uniformidad de la copa y la condición del fuste (Cuadro 5).

Cuadro 5. Valores para la estructura de copa y condición del fuste.

VALOR	ESTRUCTURA DE LA COPA	CONDICIÓN DEL FUSTE
0	Uniforme	Recto
1	Regular	Curvo
2	Irregular	Bifurcado
3	Seca	Inclinado

La estructura de copa hace referencia al contorno y forma de esta, donde una copa UNIFORME está dada por una forma cónica, en tanto que una copa IRREGULAR suele ser de forma redondeada u obovada. La condición de fuste hace referencia a la morfología de este.

3.7 Evaluación de daño por *Dasyneura sp.*

La evaluación de daño se hizo exclusivamente de forma visual; consistió en determinar únicamente el porcentaje de afectación del follaje. Esto dado que de acuerdo con Cibrián (1985), a *Dasyneura sp.* se le considera como una plaga de poca importancia ya que los daños provocados son prácticamente insignificantes.

3.8 Evaluación de daño por *Retinia arizonensis* Mill.

Se consideró para ello la cantidad de ramas principales afectadas y el grado de afectación, tomando en cuenta cinco valores cuantitativos y su equivalencia a los valores cualitativos (Cuadro 6).

Cuadro 6. Valores para evaluar el daño por *Retinia arizonensis* Mill.

VALOR OTORGADO	GRADO DE DAÑO
0	Nulo
1	Leve
2	Moderado
3	Severo
4	Muerto

3.9 Calificación y clasificación de la condición de salud del arbolado

Esta se obtuvo ponderando los valores obtenidos del número de plagas observadas y el grado de daño causado para cada árbol, siendo los valores ponderados de 0.3 para el número de plagas observadas y 0.7 para el grado de daño; el resultado fue la calificación de salud (valor numérico) en un rango de 0 a 4. La clasificación de la condición de salud está dada por cinco categorías, las cuales están en función de la calificación de salud. En el Cuadro 7 se muestra un ejemplo de cómo se calculó la calificación de salud para posteriormente determinar la clasificación de la misma.

Cuadro 7. Ejemplo para determinar la condición de salud y su clasificación.

PLAGAS OBSERVADAS (x 0.3)	GRADO DE DAÑO (x 0.7)	CALIFICACIÓN DE SALUD	CLASIFICACIÓN DE SALUD Y RANGOS DE CALIFICACIÓN
$1 * 0.3 = \mathbf{0.3}$	$0 * 0.7 = \mathbf{0.0}$	$0.3 + 0.0 = \mathbf{0.3}$	SANO.....(0.00 – 0.50)
$1 * 0.3 = \mathbf{0.3}$	$1 * 0.7 = \mathbf{0.7}$	$0.3 + 0.7 = \mathbf{1.0}$	REGULAR.....(0.51 – 1.50)
$1 * 0.3 = \mathbf{0.3}$	$2 * 0.7 = \mathbf{1.4}$	$0.3 + 1.4 = \mathbf{1.7}$	MALO.....(1.51 – 2.50)
$2 * 0.3 = \mathbf{0.6}$	$3 * 0.7 = \mathbf{2.1}$	$0.6 + 2.1 = \mathbf{2.7}$	SEVERO.....(2.51 – 3.50)
$3 * 0.3 = \mathbf{0.9}$	$4 * 0.7 = \mathbf{2.8}$	$0.9 + 2.8 = \mathbf{3.7}$	MUERTO.....(3.51 – 4.00)

Nota: En el grado de daño ponderado el valor 4 a ponderar automáticamente proporcionara una clasificación de salud de MUERTO sin considerar el valor de la calificación de salud resultante.

3.10 Análisis estadístico: comparación de medias y prueba de hipótesis

Para el análisis estadístico se realizó un ANVA de Welch a fin de determinar si las medias son iguales o no; posteriormente y en caso que las medias no sean iguales se realizó una comparación de medias de Games-Howell a fin de conocer cuales poblaciones difieren significativamente entre sí, esto en relación a la calificación de salud del arbolado y analizar las posibles causas de los resultados que se obtengan.

La hipótesis nula de este trabajo indica que la calificación de la salud es ≤ 0.5 (equivalente a un estado de salud SANO); la hipótesis alterna indicaría que la calificación de salud sería > 0.5 (algún estado de salud que no es el SANO)

La prueba de hipótesis se realizó para cada población por medio una prueba de signo para una muestra con un nivel $\alpha = 0.05$, esto previo haber realizado una prueba de normalidad que nos mostró que los datos de las cuatro poblaciones no eran normales. Tal prueba de signos nos calculará la probabilidad (valor p) de obtener los datos de muestra observados bajo el supuesto de que la hipótesis nula es verdadera. Si la probabilidad (valor p) está por debajo del nivel α definido, nuestro supuesto probablemente es errado, por ello se rechazaría la hipótesis nula y su conclusión sería a favor de la hipótesis alternativa. Si la probabilidad (valor p) está por el contrario sobre el valor α , se aceptaría la hipótesis nula.

Este procedimiento, tanto para la comparación de medias como para la prueba de hipótesis se hizo por medio del paquete estadístico Minitab 17 para cada conjunto de datos de las cuatro poblaciones.

3.11 Relación de las variables dasométricas con la condición general de salud mediante la correlación de Pearson

Para determinar si la condición general de salud está en función de alguna de las tres variables dasométricas (diámetro a la base, altura, y cobertura de copa) se aplicó la correlación de Pearson para cada área de estudio; al ser la condición de salud un valor

meramente cualitativo los valores utilizados para el análisis fueron los de calificación de salud (valores cuantitativos), de los cuales se deriva la condición de salud.

La correlación de Pearson se hizo con ayuda del software estadístico Minitab 17, el cual nos proporciona tres parámetros principales como muestra el Cuadro 8.

Cuadro 8. Parámetros de la correlación de Pearson.

Parámetros de la correlación de Pearson	
R	Coefficiente de correlación
R ²	Valor ajustado (%)
P	Si $P=0$ existe correlación; si $P \neq 0$ no existe correlación

3.12 Vulnerabilidad del arbolado

Para determinar el grado de vulnerabilidad se enlistaron los principales factores que afectan a los bosques, específicamente a las reforestaciones; estos factores son tanto los observados durante la evaluación como los que potencialmente pueden existir.

Una vez enlistados los factores se utilizó el método de jerarquías analíticas de Saaty (1980) en el que se crea una matriz de comparación pareada, la cual se ha utilizado en estudios de diversa índole, especialmente en aquellos relacionados con el estudio de mercados (Cuadro 9). Los factores se compararon uno a uno con el criterio de cual es más importante por medio de la matriz para determinar la frecuencia absoluta. La variable cuantitativa “densidad de copa” fue tomada como un factor más.

Como complemento se utilizó la Metodología Heurística que combina lo cualitativo con lo cuantitativo, donde al obtener por medio de la matriz los factores en orden representativo se les asignaron un peso (ponderación); el mayor valor implica una mayor incidencia por parte del factor. Esta metodología fue utilizada por Lozano (2008) para el análisis de vulnerabilidad y riesgo ante desastres naturales y es adaptable para otros estudios.

Cuadro 9. Matriz de jerarquía analítica de Saaty (1980).

CLV	FACTOR	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	...n	FQ. ABSOLUTA	VALOR PONDERADO
1																	
2																	
3																	
4																	
5																	
6																	
7																	
8																	
9																	
10																	
11																	
12																	
13																	
...n																	

Posteriormente se procede a obtener el producto del valor de ponderación con cualquier valor entre 0 y 1 (dependiendo que tan notorio sea el factor); el valor de la suma de todos los producto será el índice de vulnerabilidad, el cual será para cada sitio en el área “A”, mientras que para las áreas “B”, “C” y “D” se obtendrá de forma general. El Cuadro 10 muestra el ejemplo de cómo se obtuvo el índice de vulnerabilidad mediante la metodología heurística.

Cuadro 10. Metodología Heurística para obtener el índice de vulnerabilidad.

FCT	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	...n	Σ
VLR	0.01	0.08	0.11	0.12	0.03	0.09	0.02	0.09	0.10	0.05	0.11	0.08	0.03	0.08	1
PND	0	1	0.5	0.3	0.5	0.3	0.8	1	1	0	0.4	0.4	0	0.5	
VLR	0.0	0.08	0.06	0.04	0.02	0.03	0.02	0.09	0.10	0	0.05	0.03	0	0.04	0.56

Después se establecieron los rangos para definir los niveles de vulnerabilidad, los cuales para valores numéricos están entre 0 y 1 dado que para obtenerlos se utilizaron los valores ponderados de la frecuencia absoluta (Cuadro 11).

Cuadro 11. Niveles de vulnerabilidad y rangos correspondientes.

NIVELES DE VULNERABILIDAD		RANGOS
Muy alta		0.76 – 1.00
Alto		0.51 – 0.75
Medio		0.26 – 0.50
Bajo		0.00 – 0.25

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Densidad de población

Las áreas “A” y “C” son las que presentan una baja densidad de arbolado con una media de 548 y 609 árboles por ha, respectivamente, mientras que las áreas “B” y “D” son las que tienen la mayor densidad poblacional con 1,108 y 1,128 árboles, casi el doble que las primeras ya mencionadas (Cuadro 12). Sus distribuciones espaciales se muestran en las Figuras 6 y 7.

Cuadro 12. Densidades poblacionales de las áreas de estudio.

ÁREA	SUPERFICIE MUESTREADA (Has)	MUESTRA POBLACIONAL	DENSIDAD (ARB/HA)
A	1.1500	630	548
B	0.0352	39	1108
C	0.0460	28	609
D	0.0576	65	1128

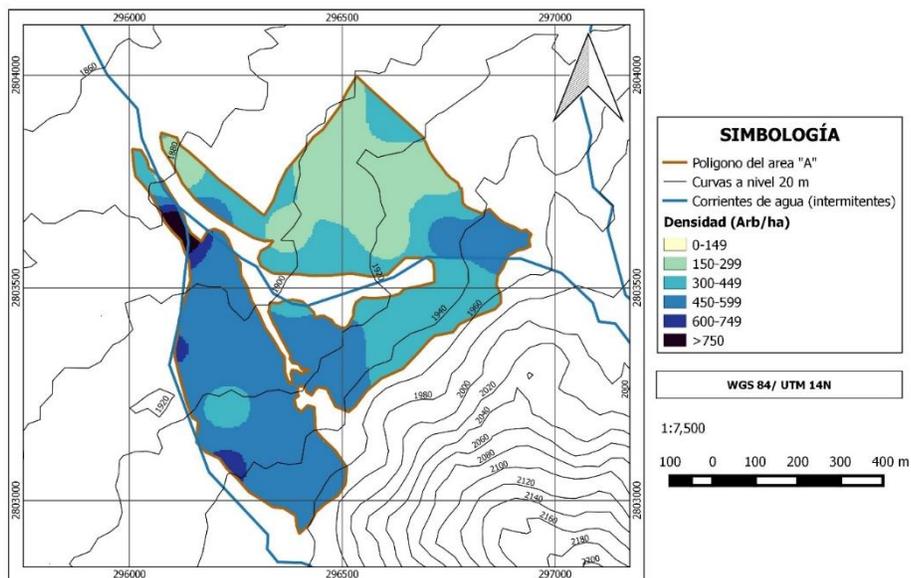


Figura 6. Mapa de distribución para la densidad poblacional en el área “A”.

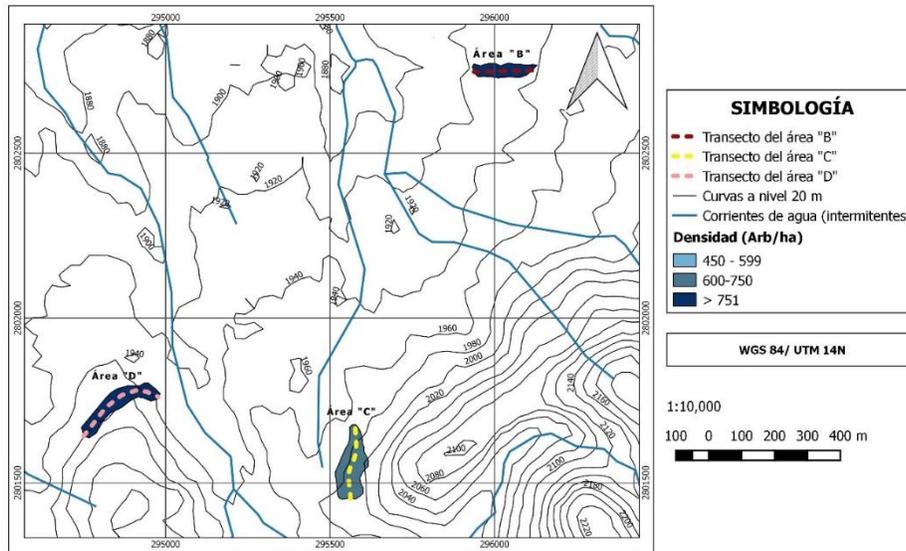


Figura 7. Mapa de distribución para la densidad poblacional en las áreas “B”, “C” y “D”.

Al comparar la densidad encontrada en la reforestación de Zapalinamé con otros estudios como el de Solís *et al.* (1989) ellos encontraron una densidad media de 337 individuos por hectárea en una población de *P. cembroides* en el ejido Santa Rosa, Saltillo. Fuentes (1992) reporta una densidad de 496 individuos por hectárea de *P. cembroides subs. orizabensis* en una comunidad de piñonero en Guadalupe Victoria, Puebla; una densidad muy similar a la observada en las áreas “A” y “C” de la reforestación de Zapalinamé. Por su parte Meza (2006), reporta para una población de *P. cembroides* una densidad de 738 y 347 individuos por hectárea para la exposición norte y sur respectivamente, esto en Santiago Anaya, Hidalgo.

Las densidades reportadas por Solís *et al.* (1989), Fuentes (1992) y Meza (2006) parecen ser similares al menos para las áreas “A” y “C”, sin embargo las superan ligeramente. Por otro lado las áreas “B” y “D” superan por casi el doble la densidades reportadas anteriormente. Esto puede deberse a que las densidades reportadas en otros trabajos son bajo condiciones de bosques naturales, en tanto que nuestras áreas de estudio fueron establecidas como reforestaciones, con una alta densidad de individuos plantados. Curiosamente y retomando lo mencionado por Meza (2006) las áreas “A” y “C” que son las que tienen las densidades más bajas son las que están mayormente expuestas a la radiación solar, en tanto

que las áreas “B” y “D” prácticamente tienen una densidad dos veces mayor y presentan una exposición no tan directa respecto a la radiación solar; es de resaltar esto, ya que Meza (2006) infiere que en la exposición sur al haber mayor radiación solar hay menor cantidad de humedad en el ambiente y en el suelo. Sin embargo, hay que considerar que *P. cembroides* es una especie nativa y adaptada a las condiciones medio ambientales de la región y la que presenta los mayores porcentajes de sobrevivencia en varios estudios, por ejemplo, Gómez-Romero *et al.* (2012) por ejemplo reportan de 81 hasta 90% de sobrevivencia en un estudio llevado a cabo en Michoacán, además encontró que a mayor pendiente mayor sobrevivencia. Otro caso, en relación a la sobrevivencia de *P. pseudostrobus* en Galeana, N.L., donde González *et al.* (2015) indican que el medio de cultivo de las plantas influye significativamente, ya que las plantas cultivadas en bolsas de polietileno presentaron mayor sobrevivencia que las producidas en charolas de poliestireno; esto al parecer se debe a que las bolsas proporcionan un mayor espacio para el buen desarrollo radicular.

De este modo podemos decir que la densidad parecer ser muy similar a la planteada desde el establecimiento de la reforestación, lo que la consideraría como exitosa. Aunque también es importante decir que se observó poca densidad en las orillas de las áreas de estudio, esto debido posiblemente al efecto de borde; sin embargo en el área “A” también se observaron áreas con densidades bajas de arbolado debiéndose principalmente a que en esas zonas no se estableció *P. cembroides* exclusivamente, sino también *P. halepensis*, además en esas zonas el espaciado entre las líneas de las plantaciones son mayor que en otras zonas. Particularmente para la reforestación de *P. cembroides* en la reforestación de Zapalinamé, las causas que influyeron en la merma de la población se debió a la extracción clandestina de plántulas y muerte de algunos árboles por causas antropogénicas mas no a causa de insectos o enfermedades.

4.2 Estructura dasométrica y morfológica

En el Cuadro 13 se presentan los valores medios de las tres variables dasométricas para cada área de estudio.

Cuadro 13. Valores medios de las variables dasométricas para las áreas de estudio.

ÁREA	DB (cm)	ALTURA (m)	COBERTURA DE COPA (m²)
A	14.251 (±0.364)	4.1927 (±0.0868)	1.5530 (±0.0550)
B	12.051 (±0.958)	4.1030 (±0.2237)	1.7282 (±0.1395)
C	13.429 (±1.378)	3.6250 (±0.3193)	3.8410 (±0.4494)
D	11.769 (±0.900)	3.3769 (±0.1820)	1.5215 (±0.1129)

De las cuatro áreas de estudio, el área “A” es la que presenta el diámetro promedio mayor, el cual es de 14.251 cm; el área “D” es la que presenta un diámetro promedio menor, siendo este de 11.769 cm. No parece haber diferencia debido a que como las plantaciones fueron establecidas casi al mismo tiempo e independientemente de estar en diferentes lugares las condiciones no difieren entre las cuatro áreas, sin embargo, la varianza parece ser alta en el área “C” a comparación del área “A” (Figura 8).

Los diámetros medios de las cuatro áreas están entre los 10 y 15 cm, siendo el orden de mayor a menor con sus respectivos valores el siguiente: “A” con 14.25 cm; “C” con 13.42 cm; “B” con 12.05 cm; y “D” con 11.76 cm. Este orden coincide con el orden de la densidad poblacional pero en forma inversa, lo cual nos indica que se debe a la competencia intraespecífica, es decir que donde existen más individuos por unidad de superficie hay mayor competencia por los recursos o bien los árboles presentan un desarrollo más completo en donde la densidad es menor.

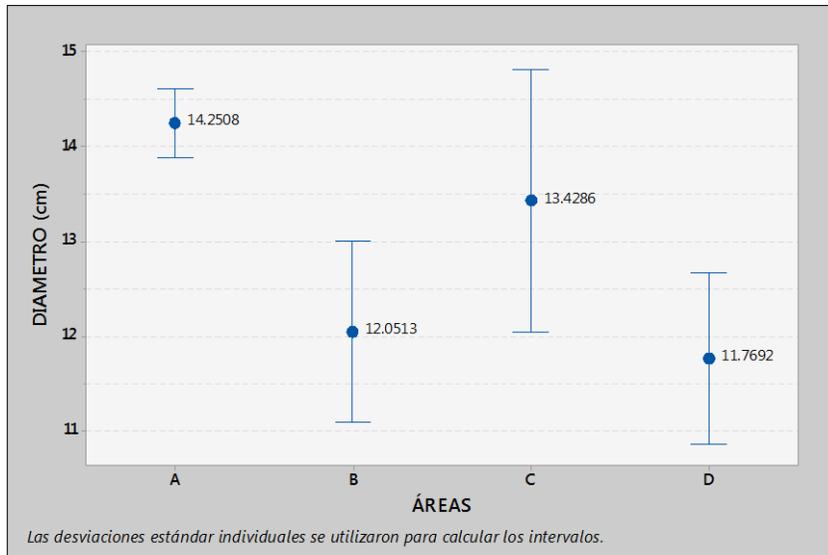


Figura 8. Diámetros medios con intervalo de confianza al 95%.

En relación a la altura las áreas “A” y la “D” son las más contrastantes, siendo sus valores 4.1927 metros y 3.3769 metros respectivamente; se aprecia una diferencia de prácticamente 0.80 metros de altura entre estas áreas las cuales presentan la mayor y menor altura media de las cuatro (Figura 9). Cabe destacar que el área “D” es la que se localiza más próxima a una trituradora de material pétreo. Por otro lado, vemos claramente como el área “C” tiene la varianza más alta de las cuatro áreas de estudio.

Respecto a la altura media vemos claramente que las áreas “A” y “B” son casi iguales así como casi lo son las áreas “C” y “D”, teniendo estas últimas una altura más baja. Esto se debe posiblemente a que en las primeras mencionadas existe suelo que si bien es somero el afloramiento rocoso no es tan notorio como en las áreas “C” y “D” las cuales se encuentran inicio de las elevaciones donde el suelo es casi inexistente. Lo anterior provoca que al no existir suelo los árboles prioricen en desarrollar su sistema radicular para un mayor anclaje antes que el crecimiento, altura, diámetro y follaje.

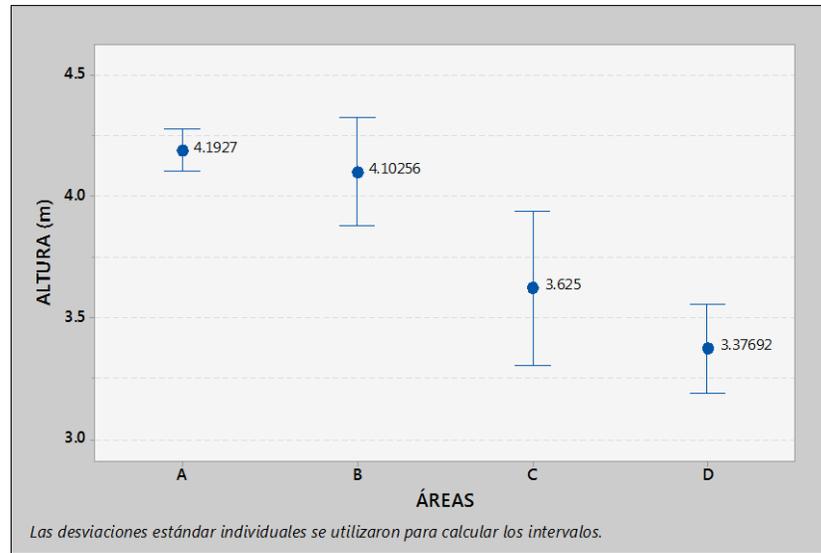


Figura 9. Alturas medias con intervalo de confianza al 95%.

Por otro lado, la cobertura de copa muestra una clara diferencia del área “C” con respecto a las otras (3.8410 m^2), ya que esta es poco mayor poco más del doble que las otras. Las áreas “A”, “B” y “D” entre ellas son prácticamente similares respecto a la cobertura de copa, en tanto el área “C” vuelve a presentar la mayor varianza pero ahora en este parámetro (Figura 10).

En la cobertura de copa por su parte las áreas “A”, “B” y “D” son casi iguales, estando en un rango de entre 1.5 y 1.8 m^2 , sin embargo el área “C” es la que difiere por mucho siendo tres veces mayor que las tres primeras mencionadas, posiblemente debido a que las plantas establecidas para esta área provienen de alguna procedencia que resulto ser superior que el de las plantas establecidas en las otras áreas. Además la reforestación fue establecida por etapas en diferentes años, situación en la cual pudo haberse establecido plantas provenientes de otras localidades o se recolecto semillas de diferentes localidades para producirlas.

Generalmente el diámetro, altura y cobertura de copa están asociados principalmente con la profundidad del suelo, el cual de acuerdo con Daniel *et al.* (1982) es un factor importante en la evaluación de la calidad del terreno de un área, esto debido a que un incremento en la profundidad del suelo siempre va asociado con una mayor cantidad de

nutrientes y una gran capacidad de retención de agua que conlleva a un desarrollo más favorable para el arbolado.

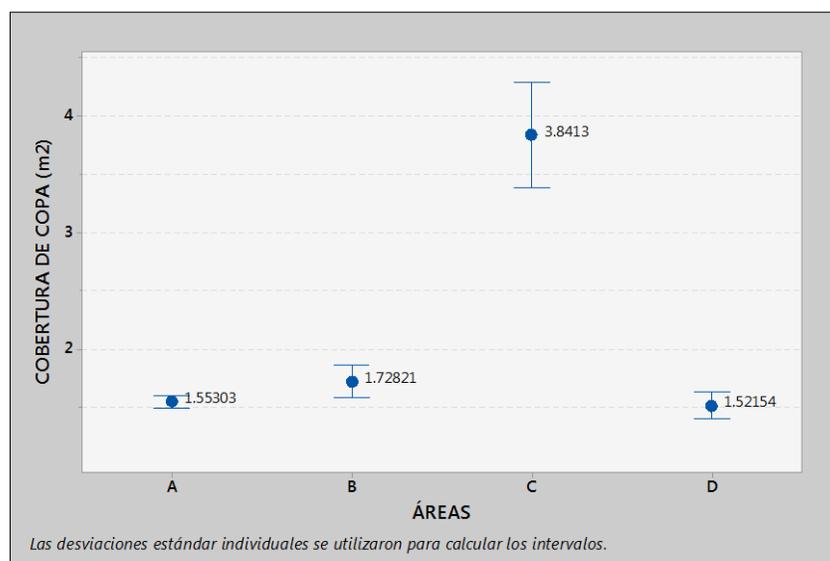


Figura 10. Coberturas de copa medias y su intervalo de confianza al 95%.

Para la estructura morfológica, en la cual se tomó en cuenta la condición del fuste y la estructura de copa los resultados arrojaron lo siguiente:

En relación al fuste el área “B” es la que se posiciona como la mejor en al tener prácticamente el 95% de sus individuos un fuste recto; en contraparte, el área “D” es quien presenta una igualdad entre lo deseable e indeseable, siendo un 54% de sus individuos quienes presentan un fuste recto, mientras que el resto en su mayoría lo comprenden individuos bi ó polifurcados (Figura 11).

La mejor situación que presenta el área “B” respecto al fuste posiblemente se debe al aislamiento y elevada pendiente que tiene y que ha minimizado los efectos de la ganadería y la fauna silvestre (principalmente liebres) en la mal conformación del fuste cuando recién la plantación se había establecido. En tanto el área “D” se localiza en una zona donde la presencia de ganado bovino es muy visible, situación que habría ocasionado que este se alimentara del piñonero cuando estaba aún en una etapa más joven y que traería como

consecuencia el fuste ya no sería recto en la mayoría de los casos; por ejemplo en Argentina Simón *et al.* (1998) encontraron que la disponibilidad de forraje (pastos) influye en el nivel de daño que el pastoreo de vacunos provoca sobre la regeneración arbórea, siendo más alto el daño donde hay menos forraje. Cabe señalar que el área “D” es donde el afloramiento rocoso es más evidente y lo que se traduciría en una menor presencia de hierbas y pastos.

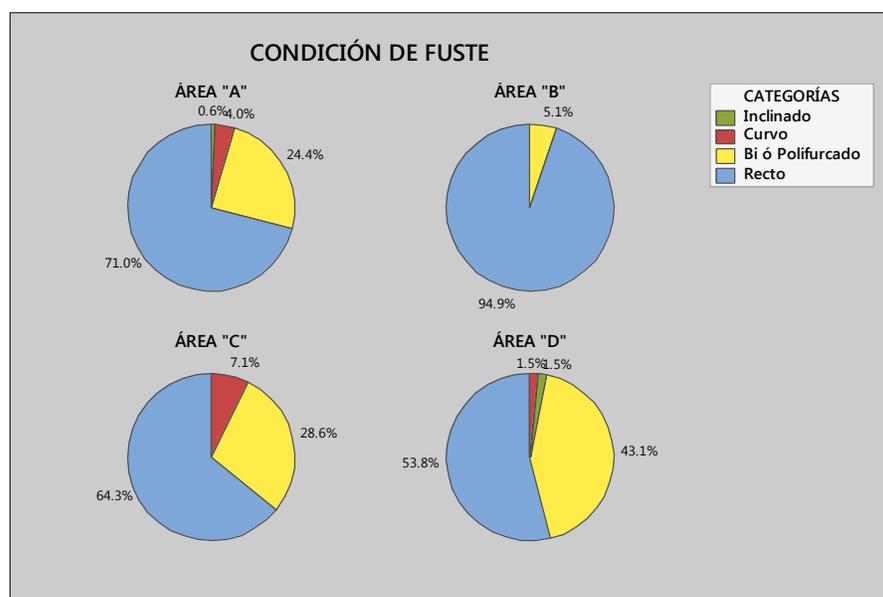


Figura 11. Graficas de distribución porcentual para la condición de fuste.

La estructura de copa no tiene diferencia significativa, ya que la proporción entre categorías es muy similar; a pesar de ello el área “B” presenta mayor uniformidad en su copa, al presentar el 82.1% esta condición (Figura 12).

Esto parece ser del todo normal, considerando que la estructura regular que se presenta se debe más que nada a la competencia entre árboles, los cuales de acuerdo a la distancia a la que fueron plantados unos de otros ya presentan competencia por espacio (Figura 13). Además es importante tomar en cuenta que como parte de la varianza y diversidad genética en la naturaleza siempre habrá diferencias fenotípicas entre individuos (Dajoz, 1974). En tanto en Chile Doll *et al.* (2005) realizaron una caracterización morfológica de tres procedencias del árbol llamado boldo (*Peumus boldus*) en una plantación joven de 6 años encontrando que un

determinado modelo de arquitectura es resultado de la expresión de la información genética en conjunto con el medio ambiente.

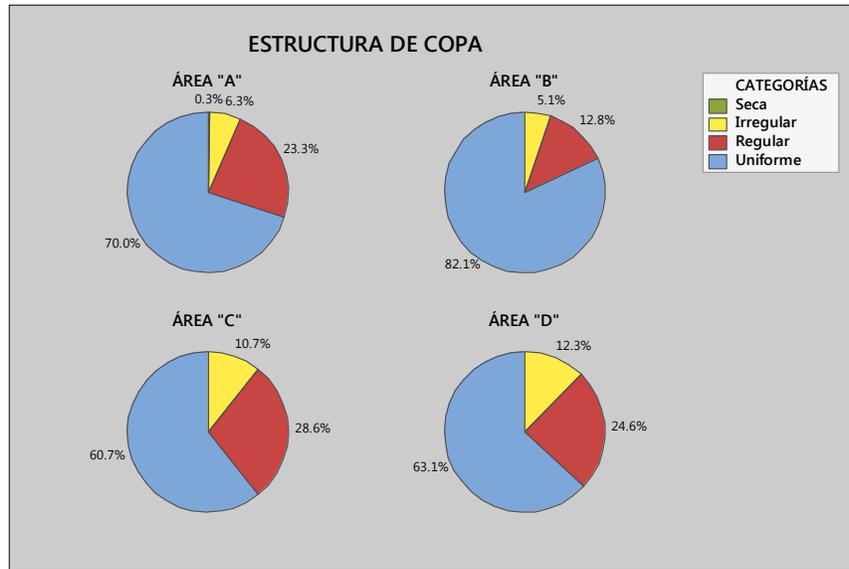


Figura 12. Gráficas de distribución porcentual para la estructura de copa.



Figura 13. Estructura de copa uniforme (izq.) e irregular (der.) en *P. cembroides*.

4.3 Calificación y clasificación de la condición de salud

Los daños más visibles fueron los causados por *R. arizonensis* Figura 14. De acuerdo al concentrado y resumen de los valores individuales en relación a la calificación de salud, se obtuvieron los siguientes resultados. La calificación más favorable tiende a los valores más bajos ya que para obtenerla se tomó en cuenta el grado de afectación por los insectos, por lo que el área “C” que fue la que obtuvo una calificación más desfavorable: 1.5464; en tanto el área “D” fue la que presentó la calificación más favorable, siendo de 0.7862 su calificación. El rango para la calificación comprende valores que van de 0 a 4 (Figura 15). En tanto la Figura 16 nos muestra que la varianza es mínima en el área “A” en comparación del resto, en las cuales es prácticamente similar.



Figura 14. Principales daños causados por *R. arizonensis* en *P. cembroides*.

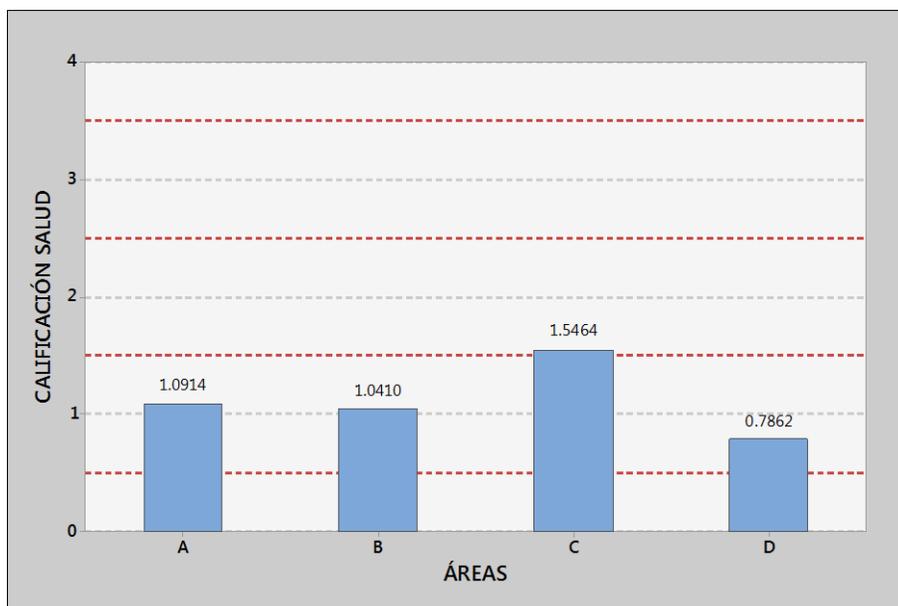


Figura 15. Grafica de las calificaciones de salud medias.

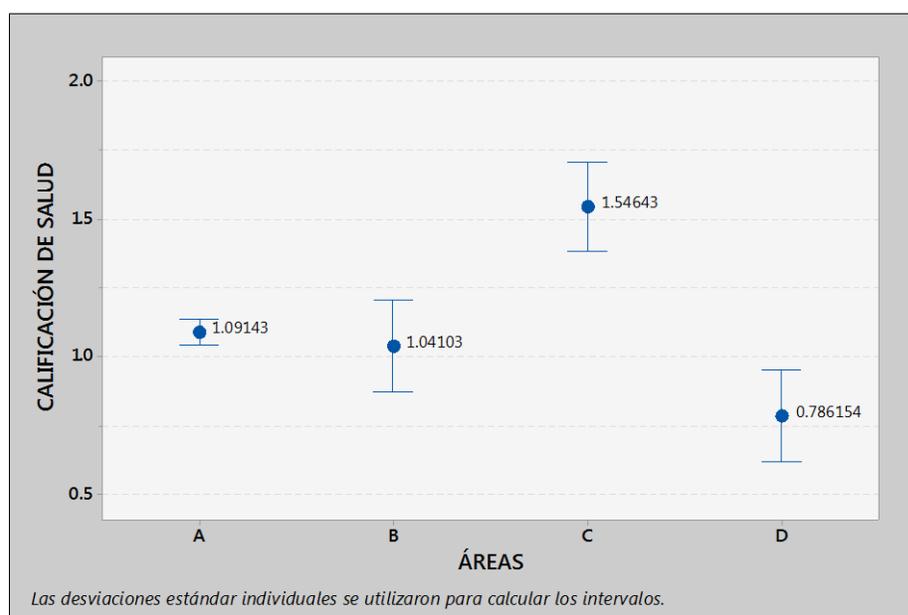


Figura 16. Grafica de los intervalos de confianza al 95% de las calificaciones de salud medias.

La condición general de salud para cada área de estudio se presenta en el Cuadro 14. Las áreas “A” y “B” presentan en casi 2/3 de su población una condición de salud REGULAR; las áreas “C” y “D” son las más contrastantes en este aspecto. El área “C”

presenta una condición de salud poco favorable ya que 2/3 de su población se encuentra en un estado de salud MALO; mientras tanto, el resto de las áreas alcanza un estado de REGULAR, siendo de estas el área “D” la que presenta una situación más favorable puesto que el 52.3% de su población tiene una condición de salud REGULAR y el 35.4% está SANO (Figura 17).

En términos porcentuales por categorías las áreas “A” y “B” son prácticamente idénticas para cada categoría, lo que hace pensar que es a causa de la proximidad entre estas áreas lo que provocaría la misma intensidad de daño y por ende entrarán en la misma categoría de la condición general de salud. Por el contrario, las áreas “C” y “D” son las que más difieren de las cuatro áreas siendo las más contrastantes posiblemente dado al aislamiento que presentan y que provocaría una intensidad de ataque diferente por parte de las plagas al presentar características morfológicas diferentes.

Además de lo anteriormente mencionado, también es importante señalar que durante las evaluaciones se observaron evidencias de un anterior ataque masivo por parte de *R. arizonensis*, sin embargo, no pareció ser tan severo puesto que el arbolado no muestra deformaciones notorias en su estructura ni presencia de arbolado muerto que pudiera estar asociado a dicha plaga; prueba de ello puede ser la alta densidad que particularmente se vio afectada en la periferia de las áreas posiblemente por el denominado efecto de borde.

También debemos considerar que la interacción entre insectos y plantas siempre ha existido; no es normal que las especies arbóreas entren en contacto con un agente dañino para el cual no tienen resistencia natural. Además si todas las plántulas producidas llegaran a la madurez, no habría espacio en este mundo para ninguna otra forma de vida; en este aspecto los insectos como plagas son útiles (Harold y Hocker, 1984). Así mismo, debemos considerar las plagas y organismos patógenos se presentan por el estrés del arbolado cuando en la plantación la alta densidad provoca competencia por nutrientes, agua y energía solar para la fotosíntesis tal y como lo señala la PAOT (2011).

Cuadro 14. Condición general de salud de las áreas de estudio.

ÁREA	CONDICIÓN GENERAL DE SALUD
A	REGULAR
B	REGULAR
C	MALA
D	REGULAR

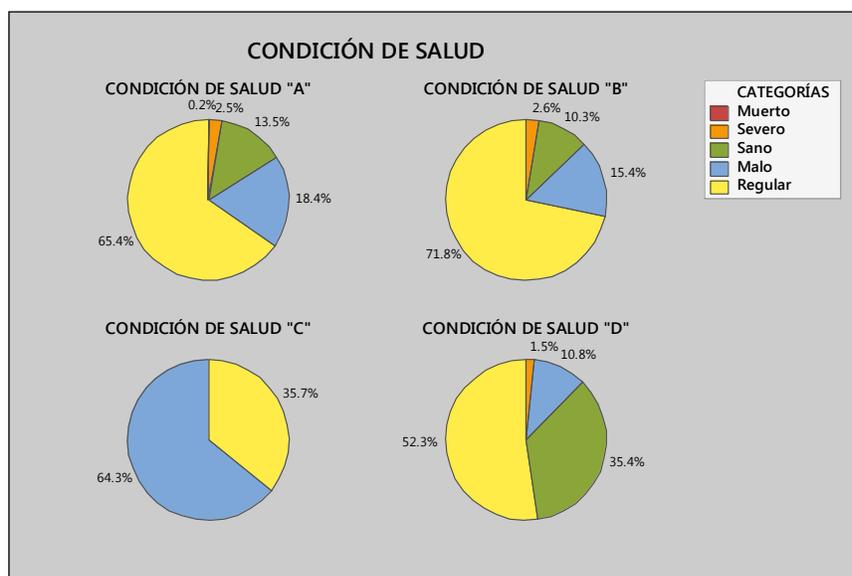


Figura 17. Graficas de distribución porcentual para la condición general de salud.

4.4 Análisis estadístico

4.4.1 Prueba de Welch y comparaciones en parejas de Games-Howell para los datos de calificación de salud

La comparación de medias realizada mediante el ANVA de Welch nos muestra claramente que las medias de la calificación de salud no son iguales ($p < 0.05$), lo que confirma de acuerdo a las medias obtenidas y los rangos previamente tomados en

cuenta de que al menos un área de estudio no tiene la misma condición de salud que las demás áreas. Los datos arrojados por el paquete estadístico Minitab 17 son los siguientes:

Método

Hipótesis nula Todas las medias son iguales
 Hipótesis alterna Por lo menos una media es diferente
 Nivel de significancia $\alpha = 0.05$

No se presupuso igualdad de varianzas para el análisis. Los valores 1, 2, 3 y 4 representan a las áreas A, B, C y D respectivamente.

Información del factor

Factor Niveles Valores
 AREA 4 1, 2, 3, 4

Prueba de Welch

Fuente	Num	GL Den	Valor F	Valor p
AREA	3	73.3322	15.59	0.000

Medias (Figura 18)

AREA	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
1	630	1.0914	0.6049	(1.0441, 1.1388)
2	39	1.0410	0.5092	(0.8759, 1.2061)
3	28	1.5464	0.4141	(1.3859, 1.7070)
4	65	0.7862	0.6664	(0.6210, 0.9513)

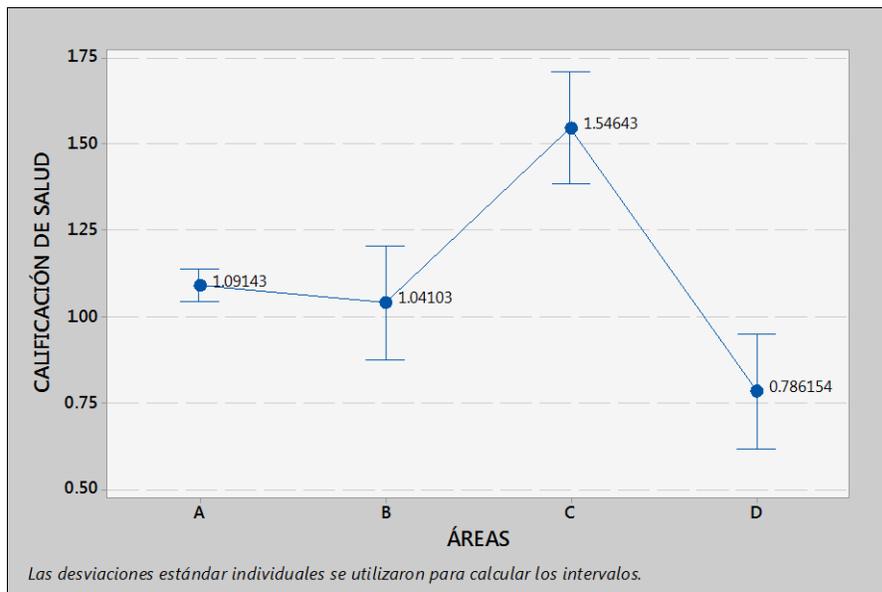


Figura 18. Grafica de las calificaciones de salud medias y su intervalo de confianza al 95%.

Comparaciones en parejas de Games-Howell

Agrupar información utilizando el método de Games-Howell y una confianza de 95%

AREA	N	Media	Agrupación
3	28	1.5464	A
1	630	1.0914	B
2	39	1.0410	B C
4	65	0.7862	C

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Pruebas simultáneas de Games-Howell para diferencias de las medias

Diferencia de niveles	Diferencia de las medias	EE de diferencia	IC de 95%	Valor T	Valor p ajustado
2 - 1	-0.0504	0.0850	(-0.2771, 0.1763)	-0.59	0.934
3 - 1	0.4550	0.0819	(0.2332, 0.6768)	5.56	0.000
4 - 1	-0.3053	0.0861	(-0.5317, -0.0788)	-3.55	0.004
3 - 2	0.505	0.113	(0.207, 0.803)	4.47	0.000
4 - 2	-0.255	0.116	(-0.559, 0.049)	-2.20	0.132
4 - 3	-0.760	0.114	(-1.059, -0.462)	-6.68	0.000

Como podemos ver el área “C” resultó ser estadísticamente las más afectada de las áreas estudiadas en tanto el área “D” resultó menos afectada (Figura 18); “A” y “B” son estadísticamente similares al igual que la área “B” y “D” (Figura 19).

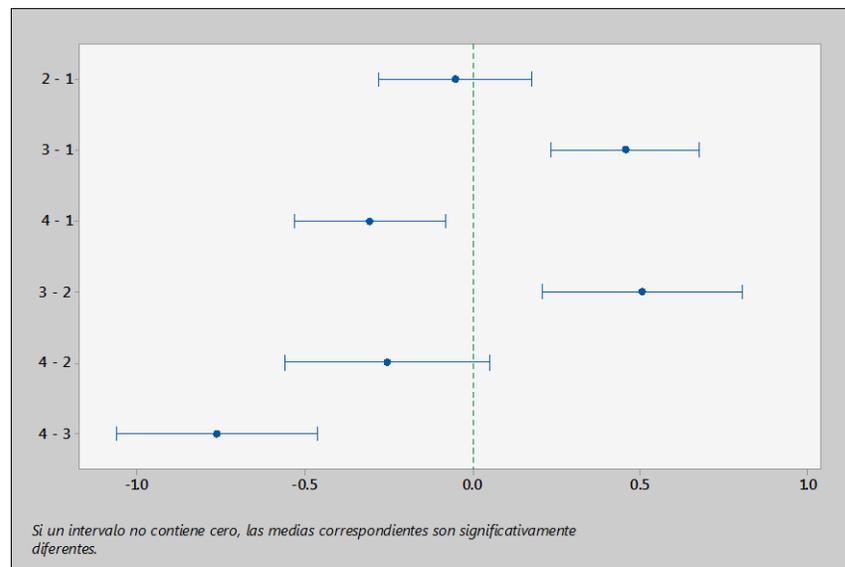


Figura 19. Intervalos de confianza simultáneos al 95% de Games-Howell para las diferencias de medias.

4.4.2 Prueba de hipótesis

De acuerdo con la prueba de signo para una muestra, los resultados obtenidos para cada área nos arrojaron los siguientes valores.

Prueba de signos para mediana: A, B, C, D

Prueba del signo de la mediana = 0.5000 vs. > 0.5000

	N	Debajo	Igual	Arriba	P	Mediana
A	630	85	0	545	0.0000	1.000
B	39	4	0	35	0.0000	1.000
C	28	0	0	28	0.0000	1.700
D	65	23	0	42	0.0128	1.000

Los valores P de las cuatro áreas están por debajo del valor $\alpha = 0.05$, por lo que podemos decir con toda certeza que ninguna de las cuatro poblaciones tiene una calificación de salud general de ≤ 0.5 (SANO), y que por lo tanto la hipótesis nula se rechaza aceptándose con ello la hipótesis alterna.

4.5 Relación de las variables dasométricas con la calificación de salud

La correlación de Pearson proporciona los valores de R , R^2 y P , con los cuales podemos corroborar si existe correlación entre las variables. Si bien los valores de R y R^2 presentan valores diferentes de 0, quien realmente nos da a saber si existe correlación es el valor de P ; si el valor de P es igual a 0 hay correlación, mas sin embargo, si el valor es diferente de 0 claramente indica que no existe correlación entre las variables. Los resultados aparecen en el Cuadro 15.

Cuadro 15. Resultados de la correlación de Pearson para las variables dasométricas.

ÁREA	ESTADÍSTICO	DIAMETRO BASAL	ALTURA	COBERTURA DE COPA
A	R	0.352	0.022	0.180
	R ²	12.4%	0.0%	3.2%
	P	0.000	0.576	0.000
B	R	0.084	-0.151	0.015
	R ²	0.7%	2.3%	0.0%
	P	0.610	0.359	0.928
C	R	-0.266	0.091	-0.239
	R ²	7.1%	0.8%	5.7%
	P	0.172	0.645	0.221
D	R	-0.214	-0.007	-0.154
	R ²	4.6%	0.0%	2.4%
	P	0.087	0.958	0.221

Solamente en el área “A” existe correlación entre alguna de las variables las cuales son diámetro y cobertura de copa con la variable dependiente calificación de salud, sin embargo los valores no son significativos como para considerar que el diámetro y la cobertura de copa nos pueden indicar la calificación de salud para *Pinus cembroides* Zucc. En el caso de las demás áreas, para todas las variables no existe correlación entre estas con la calificación de salud. Esto puede deberse a que al ser una plantación con una estructura dasométrica prácticamente homogénea es complicado encontrar correlación dado la poca variabilidad entre las variables dasométricas, además se sabe que algunos insectos prefieren árboles con ciertas características como se ha visto en bosques naturales.

4.6 Grado de vulnerabilidad

Se encontraron 14 factores de los cuales 5 son los más frecuentes y por ende los que numéricamente influyen más para determinar el grado e índice de vulnerabilidad (Cuadro 16).

Cuadro 16. Resultados de la matriz de análisis jerárquico y metodología Heurística.

CLV	FACTOR	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	FQ. ABSOLUTA	VALOR PONDERADO
1	Suelos someros		2	3	4	5	6	7	8	9	10	1	12	13	14	1	0.01
2	Competencia (alta densidad)			2	2	5	2	7	2	2	2	2	2	2	14	10	0.11
3	Ganadería/Pastoreo				4	5	6	7	8	9	10	3	12	13	14	2	0.02
4	Paseantes/Visitantes					5	6	7	8	9	10	4	12	13	14	3	0.03
5	Falta de manejo integral						5	5	5	5	5	5	5	5	5	13	0.14
6	Sequías y heladas							6	7	6	10	6	12	6	14	7	0.08
7	Incidencia de plagas								7	7	10	7	7	7	14	10	0.11
8	Circulación perimetral									9	10	11	12	8	14	4	0.04
9	Densidad de copa										10	9	12	9	9	7	0.08
10	Falta de monitoreo de la condición del bosque											10	10	13	14	9	0.10
11	Extracción clandestina de árboles												12	13	14	1	0.01
12	Brechas y caminos													13	14	7	0.08
13	Tiraderos de basura														14	6	0.07
14	Restos de fogatas															11	0.12

Dentro del área “A” hay únicamente dos grados de vulnerabilidad: media y alta (Figura 20). Prácticamente la mitad de la superficie corresponde a cada uno de los dos grados de vulnerabilidad obtenidos. Por otro lado, las áreas “B”, “C” y “D” presentan el mismo grado de vulnerabilidad; en las tres la vulnerabilidad es Alta (Figura 21).

Si bien los factores enlistados son los que con mayor frecuencia se presentan en áreas arboladas no todos están presentes en las áreas de estudio. En todo caso los factores con

mayor peso de ponderación son lo que hacen la diferencia; si bien la falta de manejo integral es un factor que esta por igual presente en todas las áreas también hay factores como la competencia y las cercanías a brechas y caminos que son determinantes para obtener cierto grado de vulnerabilidad.

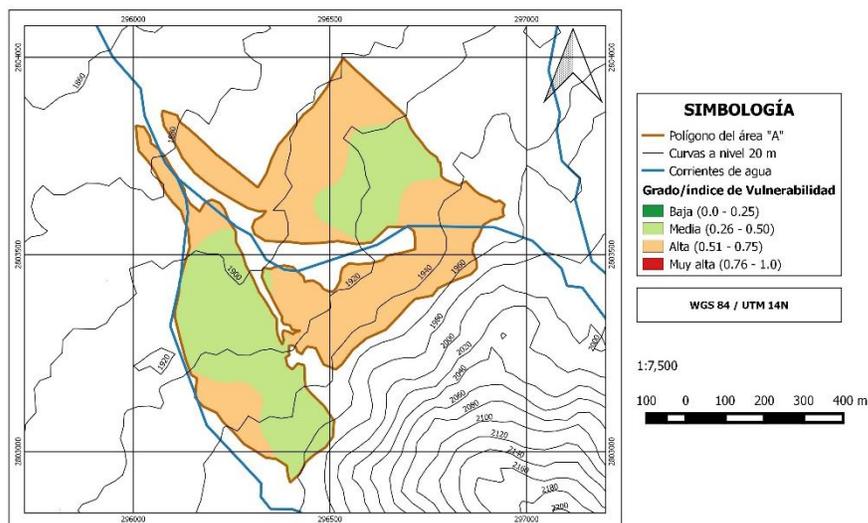


Figura 20. Mapa de distribución para el grado e índice de vulnerabilidad en el área "A".

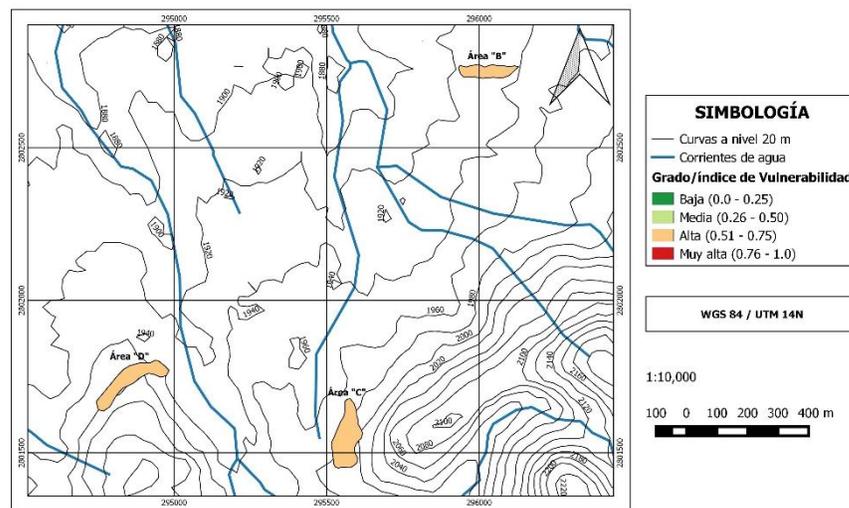


Figura 21. Mapa de distribución para el grado e índice de vulnerabilidad en las áreas "B", "C" y "D".

V. CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos se pueden inferir las siguientes conclusiones:

- 1) Existen tanto factores bióticos como abióticos que afectan a *P. cembroides* en la reforestación de Zapalinamé de manera negativa; los factores bióticos de carácter antropogénico y las plagas son los que causan mayor afectación.
- 2) Las variables dasométricas (diámetro a la base, altura y cobertura de copa) no son indicadores confiables para determinar el grado de daño en el arbolado de *P. cembroides* de la reforestación de Zapalinamé debido a la homogeneidad del arbolado en estas variables.
- 3) El grado de vulnerabilidad en *P. cembroides* es en general alto debido principalmente a los diversos factores encontrados, y no llega a ser muy alta debido a que la especie es nativa y resistente a climas extremos, principalmente de altas temperaturas y sequías.
- 4) En términos generales el grado de salud es regular debido a que no hay más de dos especies de insectos como plaga (uno de ellos sin efectos considerables) y porque estos insectos siempre han estado asociados con *P. cembroides*, lo que tendría como consecuencia un determinado grado de tolerancia y resistencia hacia estos.

VI. RECOMENDACIONES

- 1) Que institucionalmente se establezca un plan de restricción para el pastoreo que incluya la circulación perimetral en las áreas colindantes con asentamientos humanos y la carretera, y de ser posible establecer un plan de manejo para la reforestación de Zapalinamé.
- 2) Establecer un plan de vigilancia para las actividades antropogénicas que realizan visitantes en esta reforestación así como restricción de actividades de alto impacto negativo.
- 3) Realizar estudios de diversa índole (fauna, sanidad, erosión, servicios hidrológicos, impactos ambientales y sociales, potencial ecoturístico, valor económico, etc.) para obtener un diagnóstico más detallado de la situación presente en la reforestación.
- 4) Se recomienda integrar a la reforestación dentro de algún programa de pago por servicios ambientales y aprovechar el potencial ecoturístico para obtener recursos financieros con los cuales costear un manejo integral.

VII. LITERATURA CITADA

- Almaraz, I. 1992. El pino piñonero (*Pinus cembroides* Zucc.) en el estado de Coahuila, México. Monografía de Licenciatura. UAAAN. Saltillo, Coah.
- Alvarado, D. y L. L. Saavedra. 2012. Manual de campo- copa: mediciones y muestreo. Basado en la versión 4.0. Octubre, 2007 del Inventario Forestal de Estados Unidos de América. COLPOS-CONAFOR. 18 p.
- Arguedas, M. 2006. Clasificación de los tipos de daños producidos por insectos forestales. Kurú: Revista Forestal, 3 (8):1-4.
- Bailey, D. K. and Hawksworth, F. G. 1987. Phytogeography and taxonomy of the of the pinyon pines (subsect. *Cembroides*). In: Memorias del II Simposio Nacional sobre Pinos Piñoneros. Centre d'Etudes Mexicaines. México, D.F. p. 41-64.
- Castro, C. J. 1981. Contribución al estudio de la biología del defoliador de pino *Neodiprion fulviceps* (Cresson) Complex (Hymenoptera: Diprionidae) en el Estado de Chihuahua. Ciencia Forestal 6:43-51.
- Cibrián, D. 1985. Insectos de los Piñoneros. In: Memorias del I Simposio Nacional sobre Pinos Piñoneros. UANL. Linares, N. L. p. 174-192.
- CONAFOR (Comisión Nacional Forestal). 2012. Servicios ambientales y cambio climático. Zapopan, Jal. 46 p.
- CONAGUA (Comisión Nacional del Agua). 2015. Datos de temperatura y precipitación mensuales de la estación meteorológica UAAAN en Saltillo, Coah.
- Cozzo, D. 1995. Silvicultura de plantaciones maderables. Tomo I. 1a. Edición. Orientación Gráfica Editora S.R.L. Buenos Aires, Argentina. 438 p.

- Crow, W. (2000). Ball moss. Texas Agricultural Extension Service. Consultado el 11 de abril de 2016 de: <http://valverde.agrilife.org/files/2014/11/Ball-Moss.pdf>
- Dajoz, R. 1974. Tratado de ecología. Edición española. Editorial Mundi-Prensa. Madrid, España. 122 p.
- Daniel, T. W., J. A. Helms, F. S. Backer. 1982. Principios de silvicultura. 1a. Edición en español. McGraw.Hill. México, D.F. 492 p.
- Díaz-Esquivel, D. E. 1985. Tabla de Vida y Factores de Mortalidad para conos y semillas de *Pinus cembroides*. Tesis Profesional de Licenciatura. UAAAN. Saltillo, Coah.
- Díaz, B. E. 1987. Insectos forestales en la Sierra Juárez, Baja California. Ciencia Forestal 12 (62):51-90.
- Doll, U., D. Aedo, P. López. 2005. Caracterización morfológica de tres procedencias de boldo (*Peumus boldus*) en una plantación joven de 6 años. Bosque 26(3):45-54.
- Domínguez, G. 2003. Evaluación del daño causado por *Retinia arizonensis*. Miller (Lepidóptera-Tortricidae), en una plantación de *Pinus cembroides*. Zucc, en el ejido Carneros, Saltillo, Coahuila. Tesis Profesional de Licenciatura. UAAAN. Saltillo, Coah.
- Flores-Olvera, R. 1983. Notas autoecológicas del pino piñonero (*Pinus cembroides* Zuccarini) en Nuevo León, México. Tesis Profesional de Licenciatura. UANL. Linares, N. L.
- Flores-Olvera, R. 1985. Estudio ecológico-florístico de *Pinus cembroides* Zucc., en Nuevo León. In: Memorias del I Simposio Nacional sobre Pinos Piñoneros. UANL. Linares, N. L. p. 121-129.

- Flores, J. D. y R. López. 1989. Producción de piñon en rodales naturales diferentes de piñonero, *Pinus cembroides*. Impacto de insectos carpófagos. *In: Memorias del III Simposio Nacional sobre Pinos Piñoneros*. UAAAN. Saltillo, Coah. p. 122-125.
- Flores, J. D. 1999. Seguimiento al estudio de manejo integrado para insectos carpófagos que atacan al *Pinus cembroides* en el sur de Coahuila. *In: Programa y Resúmenes del X Simposio Nacional sobre Parasitología Forestal*. Universidad Autónoma de Campeche. Campeche, Camp. p. 26-27.
- Flores, J. D., J. L. Oviedo, J. A. Nájera, V. M. Rodríguez. 2001. Evaluación de daños causados por *Retinia arizonensis* (Lepidóptera-Tortricidae), en una plantación de *Pinus cembroides* en Saltillo, Coahuila. *In: Resúmenes del V Congreso Mexicano de Recursos Forestales*. Universidad de Guadalajara. Guadalajara, Jal. p. 219-220.
- Flores, J. D., J. A. Nájera, L. Morales. 2004. Principales plagas de los pinos piñoneros en el sur de Coahuila. *In: Resúmenes del IV Simposio Internacional sobre la Flora Silvestre en Zonas Áridas*. Universidad Autónoma de Chihuahua. Cd. Delicias, Chih. p. 26.
- Flores, J. D., M. Torres, J. A. Nájera. 2009. Situación del heno motita *Tillandsia recurvata*, en el estado de Coahuila. *In: Resúmenes del XV Simposio Nacional de Parasitología Forestal*. Oaxaca de Juárez, Oax. p. 50.
- Fuentes, B. 1992. Caracterización y clasificación fisonómica del bosque de pino piñonero (*Pinus cembroides* subsp. *orizabensis*) del municipio de Guadalupe Victoria, Puebla. Tesis Profesional de Licenciatura. UACH. Texcoco, Edo. de México.
- García, E. 1973. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). 2da. Edición. UNAM-Instituto de Geografía. México, D. F. 246 p.

- García-Moya, E. 1985. Estado actual de conocimiento de los piñoneros. *In*: Memorias del I Simposio Nacional sobre Pinos Piñoneros. UANL. Linares, N. L. p. 1-18.
- Gómez-Romero, M., J. C. Soto-Correa, J. A. Blanco-García, C. Sáenz-Romero, J. Villegas, R. Lindig-Cisneros. 2012. Estudio de especies de pino para restauración de sitios degradados. *Agrociencia* 46:795-807.
- González, R. E. 1997. El concepto de salud forestal. *In*: Resúmenes del IX Simposio Nacional sobre Parasitología Forestal. UAAAN. Saltillo, Coah. p. 44.
- González, M. A., J.A. Sigala, J. Jiménez. 2015. Análisis de supervivencia para una reforestación con *Pinus pseudostrobus* Lindl. en el sur de Nuevo León. *Ciencia UANL* 18 (75):61-66.
- Harold, W. y Jr. Hocker. 1984. Introducción a la biología forestal. 1ª. Edición en español. AGT Editor. México, D.F. 446 p.
- INEGI (Instituto Nacional de Información Geográfica). 1982a. Carta de uso de edafología. G14C33. Escala 1:50000
- INEGI (Instituto Nacional de Información Geográfica). 1982b. Carta de geología. G14C33. Escala 1:50000
- INEGI (Instituto Nacional de Información Geográfica). 1982c. Carta de vegetación y uso de suelo. G14C33. Escala 1:50000
- INEGI (Instituto Nacional de Información Geográfica). 1983. Síntesis Geográfica de Coahuila, México.
- IPCC. 2002. Climate Change and Biodiversity. A Technical Paper of the IPCC. *In*: Gitay, H., A. Suarez, R. T. Watson y D. Dokken. Cambridge University Press. 77 p.

- Kamila, P. G. 2005. Clavel del aire, una planta que afecta a árboles y arbustos, métodos de control. Consultado el 11 de abril de 2016 de: <http://riie.com.ar/?a=28067>
- Lozano, O. 2008. Metodología para el análisis de vulnerabilidad y riesgo ante inundaciones y sismos, de las edificaciones en centros urbanos. 1ª. Edición. PREDES. Perú. 86 p.
- Malusa, J. 1992. Phylogeny and biogeography of the pinyon pines (*Pinus* subsect. *Cembroides*). Systematic Botany 17 (1):42-66.
- Matuda, E. 1957. Bromeliáceas y Aráceas del Estado de México. Talleres Gráficos de la Nación. México, D.F. 63 p.
- Martínez, M. 1948. Los Pinos Mexicanos. 2ª. Edición. Ediciones Botas. México, D.F. 368 p.
- Martínez, S., J. R. Flores, D. Cibrián. 1985. Evaluación del daño y plan de manejo de las principales plagas de conos y semillas del piñon en el estado de Hidalgo. In: I Simposio Nacional sobre Pinos Piñoneros. UANL. Linares, N. L. p. 215-222.
- Martínez, A. A. 2014. Evaluación del método mecánico para el control de *Tillandsia recurvata*, en el ejido Cuauhtémoc, Saltillo, Coahuila. Tesis Profesional de Licenciatura. UAAAN. Saltillo, Coah.
- Merlín, E. y J. A. Prieto. 2002. Producción de árboles de navidad en regiones semiáridas del norte de México. INIFAP-SAGARPA. Folleto Técnico No. 17. Campo Experimental Valle de Guadiana, Durango. 26 p.
- Meza, H. 2006. Estudio ecológico del bosque de pino piñonero (*Pinus cembroides* Zucc.) del municipio de Santiago Anaya, Hidalgo. Tesis Profesional de Licenciatura. UAEH. Tulancingo, Hidalgo.

- Mondragón, M. A. y M. A. Olayo. 1985. El manejo del pino piñonero en México. *In*: Memorias del I Simposio Nacional sobre Pinos Piñoneros. UANL. Linares, N. L. p. 211-214.
- Mostacedo, B. y T. S. Fredericksen. 2000. Manual de métodos básicos de muestreo y análisis en ecología vegetal. BOLFOR. Santa Cruz, Bolivia. 87 p.
- Muñiz, R. 1983. Las plagas y su efecto en la silvicultura. *Ciencia Forestal* 8 (45):44-52.
- Muñoz, C., V. Pérez, P. Cobos, R. Hernández, G. Sánchez. 2003. Sanidad Forestal. Guía en imágenes de plagas, enfermedades y otros agentes presentes en los bosques. Mundi-Prensa, Madrid, España. 576 p.
- Neumann, R. 2004. Clavel del aire: un parásito estructural y su control. *Boletín Técnico Desideratum*. Año II, No. 17. Buenos Aires, Arg. 5 p.
- Oviedo, J. L. 1980. Inventario de las alternativas de transformación de especies forestales de la Sierra de Zapalinamé. Tesis Profesional de Licenciatura. UAAAN. Saltillo, Coah.
- PAOT (Procuraduría Ambiental y del Ordenamiento Territorial del D.F.). 2011. Diagnostico fitosanitario del arbolado del parque Alameda Oriente. México, D.F. 31 p.
- Perry, J. P. 1991. The pines of Mexico and Central America. Timber Press. Portland, Oregon. 231 p.
- Rentería, B. A. 2014. Efectos de la interacción de aclareos al 15 y 30% más podas al 75 y 100% para el control de *Tillandsia recurvata* en *Pinus cembroides* Zucc. Tesis Profesional de Licenciatura. UAAAN. Saltillo, Coah.
- Ríos, E., R. De Hoogh, J. J. Navar. 2008. Ensayos de especies con pinos piñoneros en el nordeste de México. *Revista Chapingo* 14 (2):97-104.

- Robert, M. F. 1977. Notas sobre el estudio ecológico y fitogeográfico de los bosques de *Pinus cembroides* Zucc., en México. *Ciencia Forestal* 2(10):49-58.
- Rodríguez, S. A. 2013. Estimación de abundancia relativa de mamíferos terrestres grandes y medianos mediante fototrampeo en el área de Reforestación Zapalinamé, Saltillo, Coahuila. Tesis Profesional de Licenciatura. UAAAN. Saltillo, Coah.
- Romero, A., E. García-Moya, M. F. Passini. 1996. *Pinus cembroides* s. l. y *Pinus johannis* del Altiplano Mexicano: una síntesis. *Acta Botánica Gallica* 143 (7):681-693.
- Rzedowski, J. 1978. Vegetación de México. 1ª. Edición. Editorial Limusa. México, D.F. 432 p.
- Saaty, T. L. 1980. The analytic hierarchy process: planning, priority setting, resource allocation. McGraw Hill. New York. 287 p.
- Sánchez-Ramos, G., P. Reyes-Castillo, J. G. Martínez-Ávalos, I. Fernando-Luis. 2015. Evaluación del daño por *Retinia arizonensis* (Heinrich) (Lepidóptera: Tortricidae), parámetros estructurales y regeneración natural en *Pinus nelsonii* (Shaw) y *P. cembroides* (Zucc.) en Miquihuana, Tamaulipas, México. *Acta Zoológica Mexicana* (nueva serie), núm. Diciembre-sin mes, pp. 367-379.
- SEMARNAP. 1999. La producción de árboles de navidad en México. Subsecretaría de Recursos Naturales. Dirección General Forestal. Documento de información al público. 10 p.
- Simón, M. P., M. Ibrahim, B. Finegan, D. A. Pezo. 1998. Efectos del Ganado bovino sobre la regeneración de tres especies arbóreas comerciales del chaco Argentino: un método de protección. *Agroforestería en las Américas (CATIE)* 5 (17-8):64-67.

- Solís, M. de J., M. Manzano, V. Blanco. 1989. Estimación de la producción de piñon como apoyo para su aprovechamiento en el ejido Sta. Rosa, Mpio. de Saltillo, Coahuila. *In: Memorias del III Simposio Nacional sobre Pinos Piñoneros*. UAAAN. Saltillo, Coahuila, México. pp. 153-156.
- Torres, J. M. y Magaña, O. 2001. Evaluación de plantaciones forestales. 1ª. Edición. Editorial Limusa. México, D. F. 472 p.
- Tzanahua, J. 2006. Fertilización en tres plantaciones de árboles de navidad de *Pinus cembroides* Zucc. en el Noreste de México. Tesis Profesional de Licenciatura. UAAAN. Saltillo, Coah.
- Velasco, E., J. F. Reséndiz, L. Sandoval, L. P. Olvera, F. Moreno, M. V. Gutiérrez, O. Cedeño. 2002. Diagnostico sanitario de los bosques del Distrito Federal, México. *Ciencia Forestal* 27 (91): 7-26.
- Wolf, F. 1985. Algunas propiedades de la madera de *Pinus cembroides* Zucc. *In: Memorias del I Simposio Nacional sobre Pinos Piñoneros*. UANL. Linares, N. L. p. 69-82.
- Yáñez-Jiménez, P. y E. García-Moya. 1985. Frecuencia, distribución, índice y distancia entre estomas en *Pinus cembroides* y *Pinus discolor* en el Altiplano Potosino. *In: Memorias del I Simposio Nacional sobre Pinos Piñoneros*. UANL. Linares, N. L. p. 110-120.