



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO
INSTITUTO DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
ÁREA ACADÉMICA DE CIENCIAS AGRÍCOLAS Y FORESTALES
INGENIERÍA FORESTAL

T E S I S

**“CARACTERÍSTICAS DE ADAPTACIÓN DE ESPECIES ARBÓREAS
INTRODUCIDAS EN UN SITIO CON CLIMA SEMISECO TEMPLADO DE
ZAPOTLÁN DE JUÁREZ, HIDALGO”**

Que para obtener el título de
Licenciada en Ingeniería Forestal

PRESENTA

Anaid Vivian Fragoso Rivero

DIRECTOR

Dr. Ramón Razo Zárate

CODIRECTOR

Dr. Rodrigo Rodríguez Laguna

Santiago Tulantepec, Hidalgo, México, noviembre, 2025.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO
INSTITUTO DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
ÁREA ACADÉMICA DE CIENCIAS AGRÍCOLAS Y FORESTALES
INGENIERÍA FORESTAL

T E S I S

**“CARACTERÍSTICAS DE ADAPTACIÓN DE ESPECIES ARBÓREAS
INTRODUCIDAS EN UN SITIO CON CLIMA SEMISECO TEMPLADO DE
ZAPOTLÁN DE JUÁREZ, HIDALGO”**

Que para obtener el título de
Licenciada en Ingeniería Forestal

PRESENTA

Anaid Vivian Fragoso Rivero

DIRECTOR

Dr. Ramón Razo Zárate

CODIRECTOR

Dr. Rodrigo Rodríguez Laguna

COMITÉ TUTORAL

Dr. Alfonso Suárez Islas

Santiago Tulantepec, Hidalgo, México, noviembre, 2025.



Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo

Instituto de Ciencias Agropecuarias

Institute of Agricultural Sciences

Área Académica de Ciencias Agrícolas y Forestales

Academic Area of Agricultural and Forestry Sciences

Tulancingo de Bravo, Hidalgo; a 21 de noviembre de 2025

Asunto: Autorización de impresión

Mtra. Ojuky del Rocío Islas Maldonado

Directora de Administración Escolar de la UAEH

Por este conducto y con fundamento en el Título Cuarto, Capítulo I, Artículo 40 del Reglamento de Titulación, le comunico que el jurado que le fue asignado a la pasante de Licenciatura en Ingeniería Forestal, **Anaid Vivian Fragoso Rivero**, quien presenta el trabajo de Tesis denominado **"Características de adaptación de especies arbóreas introducidas en un sitio con clima semiseco templado de Zapotlán de Juárez, Hidalgo"**, que después de revisarlo en reunión de sinodales, ha decidido autorizar la impresión de este, hechas las correcciones que fueron acordadas.

A continuación, se anotan las firmas de conformidad de los miembros del jurado:

PRESIDENTE: Dr. Alfonso Suárez Islas

SECRETARIO: Dr. Ramón Razo Zárate

VOCAL 1: Dr. Rodrigo Rodríguez Laguna

Sin otro particular por el momento, me despido de usted.

Atentamente
"Amor, Orden y Progreso"

Dr. José González Ávalos
Coordinador del Programa Educativo
en Ingeniería Forestal

Dr. Armando Peláez Acero
Director del ICAP



Avenida Universidad #133, Col. San Miguel Huatengo,
Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero, Hidalgo,
México. C.P. 43775.
Teléfono: 7717172001 Ext. 42173
profe_5566@uaeh.edu.mx

"Amor, Orden y Progreso"



2025



uaeh.edu.mx

La presente tesis titulada: "**Características de adaptación de especies arbóreas introducidas en un sitio con clima semiseco templado de Zapotlán de Juárez, Hidalgo**" realizada por la pasante **Anaid Vivian Fragoso Rivero**, bajo la dirección del Dr. Ramón Razo Zárate y Codirector Dr. Rodrigo Rodríguez Laguna y el comité asesor indicado, ha sido aprobada por los mismos y aceptada como requisito parcial para obtener el título de:

LICENCIADA EN INGENIERÍA FORESTAL

Comité asesor



Dr. Ramón Razo Zárate
Director



Dr. Rodrigo Rodríguez Laguna
Codirector



Dr. Alfonso Suárez Islas
Asesor

Santiago Tulantepec, Hidalgo, noviembre de 2025.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por concederme innumerables oportunidades a lo largo de mi vida y por escuchar mis oraciones en los momentos de mayor dificultad.

Mi gratitud más profunda es para mis padres, quienes hicieron todo lo que estuvo a su alcance para brindarme la oportunidad de estudiar. Gracias por no limitarme cuando decidí alejarme de casa para estudiar la universidad en un lugar desconocido. Aprecio su comprensión, cariño, guía y apoyo incondicional, así como el sustento que me han dado a lo largo de mi vida. Sin ustedes, esta tesis no habría sido posible. Es un privilegio compartir la vida con ustedes, mi familia.

Extiendo mi agradecimiento a mi director, codirector y comité de tesis, por confiar en mí y brindarme su conocimiento, tiempo y todas las facilidades necesarias para culminar este trabajo. Aunque hubo momentos desalentadores, siempre se mantuvieron firmes y me ofrecieron su gran y valioso apoyo. Con su orientación, conocimiento y paciencia, se logró culminar esta tesis.

A mis amigos Danna, Sandra, Jair y Kevin, gracias por la amistad que construimos y por acompañarme durante mi vida universitaria de todas las maneras posibles, gracias por el privilegio de compartir con ustedes una de las etapas más maravillosas de mi vida. ¡Que nuestros caminos se sigan encontrando siempre!

Agradezco al Instituto de Ciencias Agropecuarias (ICAp) por proporcionarme conocimientos, habilidades y experiencias valiosas durante mi trayectoria universitaria.

Finalmente, agradezco a todos los profesores que me impartieron sus conocimientos a lo largo de mi formación, su dedicación y compromiso con su trabajo fueron fundamentales para mi crecimiento académico y personal, y para enamorarme de esta maravillosa carrera.

“Todo lo puedo en Cristo que me fortalece.”

(Filipenses 4:13)

DEDICATORIA

Esta tesis se la dedico con todo mi corazón a mi mamá, quien para mí es el ejemplo más grande de fortaleza. A pesar de las adversidades que enfrentó a lo largo de su vida, supo levantarse y convertirse en una madre admirable, llena de amor y apoyo para su familia. Gracias a su cariño, sus consejos, su orientación y su ayuda incondicional, hoy he logrado llegar hasta aquí.

También dedico este trabajo a mi papá, quien a su manera siempre buscó acompañarme y brindarme su apoyo. Su esfuerzo, amor y presencia han sido fundamentales para que hoy pueda culminar esta tesis.

Finalmente, extendiendo esta dedicatoria a mis familiares y amigos, quienes de distintas formas han estado presentes en mi vida. Estoy segura de que cada uno aportó un granito de arena para que yo pudiera llegar a este momento tan importante.

.

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE FIGURAS.....	I
RESUMEN.....	III
ABSTRACT	IV
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. OBJETIVOS.....	3
2.1 Objetivo general.....	3
2.2 Objetivos específicos	3
3. MARCO TEÓRICO.....	4
3.1 Conceptos básicos	4
3.1.2 Especies nativas de flora.....	4
3.1.3 Especie y sub especie endémica.....	4
3.1.4 Especie exótica o alóctona	4
3.1.5 Especies naturalizadas	4
3.1.6 Forestación.....	4
3.1.7 Reforestación	4
3.2 Especies arbóreas introducidas	5
3.3 Clima semiseco (BS) y semiseco templado (BS1kw)	7
3.4 Adaptación de especies arbóreas	8
3.5 Características de adaptación	10
3.5.1Adaptaciones Morfológicas	10
3.5.2Adaptaciones Fisiológicas.....	10
3.5.4 Adaptaciones a las Perturbaciones Ambientales	11
3.6 Supervivencia de especies	11
3.7 Factores que influyen en la supervivencia y crecimiento de las reforestaciones	12
3.7.1 Selección de especies	12
3.7.2 Importancia del origen de la semilla	13
3.7.3 Calidad de planta.....	13
3.7.4 Preparación del sitio	15
3.7.6 Distribución de planta	16
3.7.7 Densidad de plantación.....	17
3.7.8 Época de plantación.....	17

3.7.9 Cuidados y mantenimiento	19
3.7.10 Monitoreo y evaluación	19
3.7.11 El factor social y su relación con las reforestaciones	21
3.8 Causas de mortalidad de las reforestaciones y propuestas de mejora	23
3.8.1 Sequia.....	23
3.8.2 Heladas.....	24
3.8.3 Exceso de humedad.....	24
3.8.4 Fecha inadecuada de plantación	24
3.8.5 Planta de baja calidad	25
3.8.6 Competencia con vegetación.....	26
3.8.7 Pastoreo.....	26
3.8.8 Selección de especies y / o procedencias inapropiadas	26
3.8.9 Fauna nociva.....	27
3.8.10 Incendios	27
3.8.11 Técnicas inadecuadas de preparación del terreno	28
3.8.12 Técnicas inadecuadas al plantar.....	28
3.8.13 Plagas o enfermedades	29
3.8.14 Vandalismo	29
3.8.15 Falta de educación y compromiso	29
3.10 Reforestaciones urbanas.....	30
3.11 Descripción general de las especies evaluadas	32
3.11.3 <i>Acacia melanoxylon</i> R.Br.....	36
3.11.6 <i>Prunus serotina</i>	40
3.12 Estudios relacionados al tema	44
4. MATERIALES Y MÉTODOS.....	47
4.1 Ubicación del área de estudio.....	47
3.7 Descripción de las características de plantas	48
4.3 Diseño de plantación.....	50
4.4 Sistema de riego.....	51
4.5 Características dasométricas evaluadas	52
4.6 Recopilación de datos	58
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	59
5.1 Porcentaje de especies reforestadas	59

5.1 Diámetro normal	60
3.7.1 Altura	61
3.7.2 Numero de brotes	63
3.7.3 Cantidad de follaje	64
3.7.4 Estado fitosanitario	65
5.2. Supervivencia	66
6. CONCLUSIONES	69
7. REFERENCIAS	70

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

ILUSTRACIÓN 1 EJEMPLAR DE <i>LIGUSTRUM LUCIDUM</i> W.T. AITON EN EL COBAEH PLANTEL ZAPOTLÁN	33
ILUSTRACIÓN 2 EJEMPLAR DE <i>HESPEROCYPARIS LUSITÁNICA</i> (MILL.) BARTEL.....	35
ILUSTRACIÓN 3 EJEMPLAR DE <i>ACACIA MELANOXYLON</i> R.BR. EN EL COBAEH PLANTEL ZAPOTLÁN	36
ILUSTRACIÓN 4 EJEMPLAR DE <i>PINUS CEMBROIDES</i> ZUCC. EN LA FORESTACIÓN COBAEH PLANTEL ZAPOTLÁN	38
ILUSTRACIÓN 5 EJEMPLAR DE <i>PINUS GREGGII</i> ENGELM.EX PARL EN EL COBAEH PLANTEL ZAPOTLÁN	39
ILUSTRACIÓN 6 EJEMPLAR DE <i>PRUNUS SEROTINA</i> EN EL COBAEH PLANTEL ZAPOTLÁN.....	41
ILUSTRACIÓN 7 EJEMPLAR DE <i>SCHINUS MOLLE</i> L. EN EL COBAEH PLANTEL ZAPOTLÁN	42
ILUSTRACIÓN 8 EJEMPLAR DE <i>SCHINUS TEREBINTHIFOLIUS</i> EN EL COBAEH PLANTEL ZAPOTLÁN	43
ILUSTRACIÓN 9 MAPA DE UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL COBAEH PLANTEL ZAPOTLÁN.....	48
ILUSTRACIÓN 10 FORESTACIÓN A MARCO REAL DE 3X3 METROS EN LA FORESTACIÓN COBAEH PLANTEL ZAPOTLÁN COMO MEDIDA DE COMPENSACIÓN AMBIENTAL POR LA CONSTRUCCIÓN DEL CENTRO DE DISTRIBUCIÓN FARMACIAS GUADALAJARA ZONA CENTRO (2022).....	51
ILUSTRACIÓN 11 SISTEMA DE RIEGO. ESTABLECIDO EN LA FORESTACIÓN COBAEH PLANTEL ZAPOTLÁN, COMO MEDIDA DE COMPENSACIÓN AMBIENTAL POR LA CONSTRUCCIÓN DEL CENTRO DE DISTRIBUCIÓN FARMACIAS GUADALAJARA ZONA CENTRO (2022).....	52
ILUSTRACIÓN 12 MEDICIÓN DE ALTURA DE ÁRBOLES CON FLEXÓMETRO ESTABLECIDO EN LA FORESTACIÓN COBAEH PLANTEL ZAPOTLÁN, COMO MEDIDA DE COMPENSACIÓN AMBIENTAL POR LA CONSTRUCCIÓN DEL CENTRO DE DISTRIBUCIÓN FARMACIAS GUADALAJARA ZONA CENTRO (2022)	52
ILUSTRACIÓN 13 SE MUESTRA DOS EJEMPLARES DE LA ESPECIE <i>HESPEROCYPARIS LUSITÁNICA</i> (MILL.) BARTEL, DONDE LA IMAGEN A) MUESTRA UN EJEMPLAR CON FOLLAJE ABUNDANTE, MIENTRAS QUE LA IMAGEN B) MUESTRA UN EJEMPLAR CON FOLLAJE MEDIO.	53
ILUSTRACIÓN 14 MUESTRA UN ÁRBOL DE LA ESPECIE <i>SCHINUS MOLLE</i> L. CON REBROTES.	54
ILUSTRACIÓN 15 MUESTRA UN ÁRBOL DE LA ESPECIE <i>PRUNUS SEROTINA</i> EHRH CON REBROTES.....	54
ILUSTRACIÓN 16 MUESTRA LA FORESTACIÓN REALIZADA EN EL COBAEH PLANTEL ZAPOTLÁN COMO MEDIDA DE COMPENSACIÓN AMBIENTAL POR LA CONSTRUCCIÓN DEL CENTRO DE DISTRIBUCIÓN FARMACIAS GUADALAJARA ZONA CENTRO (2022) Y NOS PERMITE OBSERVAR EL ESTADO FITOSANITARIO EN GENERAL DEL ARBOLADO. .	55
ILUSTRACIÓN 17 EJEMPLAR DE LA ESPECIE QUE PERMITE OBSERVAR LA CARACTERÍSTICA DE UN ÁRBOL SANO EN LA FORESTACIÓN COBAEH ZAPOTLÁN COMO MEDIDA DE COMPENSACIÓN AMBIENTAL POR LA CONSTRUCCIÓN DEL CENTRO DE DISTRIBUCIÓN FARMACIAS GUADALAJARA ZONA CENTRO (2022).	56
ILUSTRACIÓN 18 EJEMPLAR DE LA ESPECIE QUE PERMITE OBSERVAR LA CARACTERÍSTICA DE UN ÁRBOL EN DECADENCIA EN LA FORESTACIÓN COBAEH ZAPOTLÁN COMO MEDIDA DE COMPENSACIÓN AMBIENTAL POR LA CONSTRUCCIÓN DEL CENTRO DE DISTRIBUCIÓN FARMACIAS GUADALAJARA ZONA CENTRO (2022)	57
ILUSTRACIÓN 19 EJEMPLAR DE LA ESPECIE QUE PERMITE OBSERVAR LA CARACTERÍSTICA DE UN ÁRBOL MUERTO EN LA FORESTACIÓN COBAEH ZAPOTLÁN COMO MEDIDA DE	

COMPENSACIÓN AMBIENTAL POR LA CONSTRUCCIÓN DEL CENTRO DE DISTRIBUCIÓN FARMACIAS GUADALAJARA ZONA CENTRO (2022)	57
ILUSTRACIÓN 20 FORMATO DE CAMPO PARA LA OBTENCIÓN DE DATOS EN LA FORESTACIÓN COBAEH PLANTEL ZAPOTLÁN.....	58

INDICE DE TABLAS

TABLA 1 PORCENTAJE DE ESPECIES PLANTADAS COBAEH PLANTEL ZAPOTLÁN COMO MEDIDA DE COMPENSACIÓN AMBIENTAL POR LA CONSTRUCCIÓN DEL CENTRO DE DISTRIBUCIÓN FARMACIAS GUADALAJARA ZONA CENTRO (2022)	59
TABLA 2 PROMEDIOS POR ESPECIE DEL NÚMERO DE BROTES EN LA FORESTACIÓN REALIZADA COMO MEDIDA DE COMPENSACIÓN AMBIENTAL POR LA CONSTRUCCIÓN DEL CENTRO DE DISTRIBUCIÓN FARMACIAS GUADALAJARA ZONA CENTRO (2022)	63
TABLA 3 PROMEDIOS DE LA CANTIDAD DE FOLLAJE POR ESPECIE, CLASIFICADOS EN ABUNDANTE (A), MEDIO (M), POBRE (P) Y SIN FOLLAJE (SF), EN LA FORESTACIÓN REALIZADA COMO MEDIDA DE COMPENSACIÓN AMBIENTAL POR LA CONSTRUCCIÓN DEL CENTRO DE DISTRIBUCIÓN FARMACIAS GUADALAJARA ZONA CENTRO (2022)	64
TABLA 4 PROMEDIOS POR ESPECIE DEL ESTADO FITOSANITARIO, DONDE SANO ES (S), ENFERMO (E) Y PLAGDO (P), EN LA FORESTACIÓN COBAHE PLANTEL ZAPOTLÁN REALIZADA COMO MEDIDA DE COMPENSACIÓN AMBIENTAL POR LA CONSTRUCCIÓN DEL CENTRO DE DISTRIBUCIÓN FARMACIAS GUADALAJARA ZONA CENTRO (2022)	65
TABLA 5 PORCENTAJE DE SUPERVIVENCIA POR ESPECIE DE DONDE VIVO ES (V), DECADENCIA ES (D), MUERTO ES (M) EN LA FORESTACIÓN REALIZADA COMO MEDIDA DE COMPENSACIÓN AMBIENTAL POR LA CONSTRUCCIÓN DEL CENTRO DE DISTRIBUCIÓN FARMACIAS GUADALAJARA ZONA CENTRO (2022)	67

RESUMEN

La pérdida de cobertura vegetal en México ha generado la necesidad de implementar proyectos de forestación como estrategia de restauración ecológica y mitigación ambiental. Sin embargo, el éxito de estas iniciativas depende de la correcta selección de especies y su capacidad de adaptación a las condiciones del sitio. Por ello, se evaluó una forestación establecida en el COBAEH plantel Zapotlán, en un clima semiseco templado, donde se plantaron 526 individuos de ocho especies arbóreas introducidas. El objetivo fue determinar su grado de adaptación mediante el análisis de características dasométricas como número de brotes, estado fitosanitario, cantidad de follaje y el porcentaje de supervivencia. El estudio se realizó mediante muestreos directos y mediciones dasométricas, clasificando los datos por especie y analizando los promedios generales en Excel. Los resultados mostraron que *Pinus cembroides* Zucc, *Ligustrum lucidum* W.T. Aiton y *Hesperocyparis lusitánica* (Mill.) Bartel presentaron mejores valores en follaje y supervivencia, lo que indica una alta capacidad de adaptación a condiciones de baja humedad y alta radiación. En contraste, *Prunus serotina* Ehrh y *Schinus molle* L. mostraron menor desempeño y vitalidad, lo que sugiere una mayor sensibilidad a factores como el tipo de suelo, disponibilidad de agua y competencia. La comparación general evidenció que no todas las especies responden de la misma manera al ambiente local, por lo que la selección adecuada de especies resulta fundamental para asegurar el éxito de las reforestaciones urbanas y compensatorias. Los resultados aportan información útil para futuras decisiones de manejo y restauración ecológica en zonas con clima semiseco templado como Zapotlán de Juárez, Hidalgo.

Palabras clave: adaptación, supervivencia, especies arbóreas, dasometría, forestación.

ABSTRACT

The loss of vegetation cover in Mexico has generated the need to implement forestation projects as a strategy for ecological restoration and environmental mitigation. However, the success of these initiatives depends on the correct selection of species and their ability to adapt to site conditions. Therefore, a forestation established at the COBAEH Zapotlán campus, in a temperate semi-dry climate, was evaluated, where 526 individuals from eight introduced tree species were planted. The objective was to determine their degree of adaptation through the analysis of dasometric characteristics such as number of sprouts, phytosanitary status, foliage quantity, and survival percentage. The study was carried out through direct sampling and dasometric measurements, classifying the data by species and analyzing the general averages in Excel. The results showed that *Pinus cembroides* Zucc., *Ligustrum lucidum* W.T. Aiton, and *Hesperocyparis lusitanica* (Mill.) Bartel presented better values in foliage and survival, which indicates a high capacity for adaptation to conditions of low humidity and high radiation. In contrast, *Prunus serotina* Ehrh. and *Schinus molle* L. showed lower performance and vitality, suggesting greater sensitivity to factors such as soil type, water availability, and competition. The general comparison revealed that not all species respond in the same way to the local environment, so the appropriate selection of species is essential to ensure the success of urban and compensatory reforestations. The results provide useful information for future management and ecological restoration decisions in areas with a temperate semi-dry climate such as Zapotlán de Juárez, Hidalgo.

Keywords: adaptation, survival, tree species, dasometry, forestat

1. INTRODUCCIÓN

La pérdida vegetación forestal en México, ya sea por causas inducidas o naturales es de 208,850 ha/año (Sistema Nacional de Monitoreo Forestal, 2021), este fenómeno se debe principalmente a la deforestación, la fragmentación de diversas regiones del país y la conversión de los terrenos forestales a terrenos agrícolas, pastizales o asentamientos humanos. Las consecuencias incluyen la erosión de suelos, pérdida de biodiversidad, servicios ecosistémicos y la disponibilidad y calidad de las aguas superficiales o subterráneas. Además, genera deterioro del ambiente y afecta de manera gradual la calidad de vida de las comunidades y los medios de subsistencia (SEMARNAT, 2018).

La forestación en el estado de Hidalgo, es esencial para la restauración de terrenos degradados. Más allá de la recuperación de la cubierta vegetal, está practica es fundamental para fortalecer los ecosistemas y aumentar la resiliencia de las comunidades ante los desafíos impuestos por el cambio climático actual (Toledo, 1965).

No obstante, para que los proyectos de forestación sean exitosos en zonas con clima semiseco, es crucial identificar especies arbóreas que puedan adaptarse a condiciones adversas como baja disponibilidad de agua y suelos pobres. Evaluar los rasgos de adaptación de dichas especies, por ejemplo, su supervivencia, crecimiento y morfología, es fundamental para garantizar que la restauración no solo sea efectiva a corto plazo, sino sostenible a largo plazo (FAO,2000).

Un estudio relevante realizado en México por Patiño-Flores, 2022, analizó el desempeño de una reforestación con especies nativas del matorral espinoso tamaulipeco, evaluando su tasa de supervivencia, crecimiento en altura y diámetro durante más de tres años. Encontraron que, aunque algunas especies presentaron tasas

bajas de supervivencia, alrededor del 49 %, otras mostraron crecimiento significativo en diámetro basal. Además, otro trabajo mexicano centrado en estrategias de restauración ecológica en el Parque Nacional Cumbres de Monterrey demostró que la combinación de *Pinus cembroides* Zucc con métodos como nucleación, micorrización y creación de microclimas mediante mallas atrapaniebla, puede mejorar la supervivencia hasta un 92 %, reducir el estrés hídrico y favorecer la infiltración de agua en suelos degradados (Sandoval, 2022). Siendo la forestación una práctica fundamental que genera un cambio positivo para conservar la biodiversidad, modificar el paisaje y mitigar el cambio climático, se realizó la evaluación de una forestación establecida en el COBAEH plantel Zapotlán una escuela ubicada en Zapotlán de Juárez en el estado de Hidalgo, para la forestación se plantaron 526 árboles de ocho especies diferentes como *Ligustrum lucidum* W.T. Aiton, *Hesperocyparis lusitánica* (Mill.) Bartel, *Acacia melanoxylon* R.Br., *Pinus cembroides* Zucc., *Pinus greggii* Engelm.ex Parl, *Prunus serotina* Ehrh, *Schinus molle* L., *Schinus terebinthifolius* var. *acutifolius* Engl.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

Determinar el grado de adaptación de especies arbóreas introducidas establecidas en una forestación por compensación ambiental mediante el análisis de características dasométricas y de supervivencia en el acuífero Cuautitlán- Pachuca.

2.2 Objetivos específicos

- Evaluar las características dasométricas que permitan conocer el grado de adaptación en un ensayo de especies arbóreas.
- Determinar el porcentaje de supervivencia en las especies arbóreas establecidas.
- Comparar el grado de adaptación entre las especies arbóreas introducidas en un sitio con clima semiseco templado de Zapotlán de Juárez.

3. MARCO TEÓRICO

3.1 Conceptos básicos

3.1.2 Especies nativas de flora

Especie que se encuentra dentro de su área de distribución natural u original (histórica o actual) de acuerdo con su potencial de dispersión natural. La especie forma parte de las comunidades bióticas naturales del área. Las especies nativas tienen relaciones evolutivas y ecológicas con otras especies con las que han compartido su historia y están bien adaptadas a las condiciones locales (Meraz, 2007).

3.1.3 Especie y sub especie endémica

La NOM-059- SEMARNAT-2010, relativa a la protección ambiental, define como especie endémica y subendémica aquella especie cuya área de distribución natural se encuentra únicamente circunscrita a la República Mexicana y aguas de jurisdicción nacional Diccionario ambiental y asignaturas afines (Meraz, 2007).

3.1.4 Especie exótica o alóctona

La NAE-SEMADES-005/2005 define como especie exótica o alóctona a plantas, árboles o arbustos que no son originarios o nativos del sitio geográfico donde se encuentran (Meraz, 2007).

3.1.5 Especies naturalizadas

Son especies vegetales aclimatadas a un ambiente que no es el suyo, pero a diferencia de la simple aclimatación, la especie naturalizada se mantiene por ella misma, sin ayuda del hombre, como si fuera una especie nativa (Meraz, 2007).

3.1.6 Forestación

Establecimiento y desarrollo de la vegetación forestal en terrenos preferentemente forestales o temporalmente forestales con propósito de conservación, restauración o producción comercial (Meraz, 2007).

3.1.7 Reforestación

Según la LGDFS se define como reforestación al establecimiento inducido de vegetación forestal en terrenos forestales (Meraz, 2007).

3.2 Especies arbóreas introducidas

Las especies arbóreas introducidas, también conocidas como especies exóticas o no nativas; son aquellas que han sido plantadas o han invadido un área fuera de su distribución natural histórica. Estas especies son objeto de diversas investigaciones debido a los impactos ecológicos, económicos y sociales que pueden generar en los ecosistemas locales. En muchos casos, las especies arbóreas exóticas son empleadas en proyectos de reforestación, paisajismo urbano o en la industria forestal debido a sus propiedades, como el crecimiento rápido o la resistencia a enfermedades, que las hacen atractivas para su uso en ambientes controlados. Sin embargo, su introducción y expansión pueden tener efectos negativos si no se gestionan adecuadamente (INTA, 2023).

Las especies arbóreas introducidas pueden ofrecer diversos beneficios en entornos urbanos y rurales. Uno de los principales es su capacidad para contribuir a la producción forestal, ya que algunas especies crecen más rápido que las nativas, lo que permite obtener madera, celulosa y otros productos de manera más eficiente. Esto ha sido documentado en varias plantaciones en México y otros países de América Latina, donde especies como el *Pinus* (pino) se utilizan para la producción comercial. Además, las especies introducidas han jugado un papel importante en la restauración de áreas degradadas, estabilizando suelos erosionados y proporcionando cobertura vegetal rápida, lo que favorece la recuperación de ciertas funciones ecológicas. En entornos urbanos, las especies exóticas, como el *Eucalyptus globulus* y la *Jacaranda mimosifolia*, también se emplean por sus beneficios estéticos, la provisión de sombra y la mejora de la calidad del aire, ya que algunos de estos árboles son resistentes a condiciones climáticas extremas y enfermedades locales (SEMARNAT, 2005).

Aunque las especies exóticas pueden ofrecer beneficios inmediatos, su introducción conlleva riesgos ecológicos significativos. Uno de los impactos más notorios es la alteración de la biodiversidad local. Las especies introducidas pueden desplazar a las especies nativas mediante mecanismos como la competencia por recursos, la propagación de enfermedades o el cambio en las características del hábitat como el tipo de suelo o la disponibilidad de agua. En algunos casos, las especies exóticas alteran las relaciones ecológicas entre plantas, animales y microorganismos, afectando la cadena trófica local (Álvarez, 2020).

México es un país mega diverso, y la flora es particularmente amplia. Se estima que existen más de 3,600 especies de árboles en el país, de las cuales aproximadamente el 42% son endémicas. A pesar de esta riqueza, la introducción de especies arbóreas no nativas ha sido una práctica común en áreas urbanas, agrícolas y forestales. Según estudios recientes, en muchas ciudades mexicanas, como Ciudad de México y Monterrey, más del 50% de las especies arbóreas plantadas son introducidas (CONANP, 2024). Este fenómeno ha generado debates sobre los beneficios y las consecuencias de estas especies para los ecosistemas locales. Además, en varios programas de reforestación y restauración ecológica, la selección de especies ha estado influenciada por la disponibilidad de especies comerciales o por la facilidad de adaptación de algunas especies introducidas, sin tener en cuenta su impacto a largo plazo (SEMARNAT, 2005).

Es fundamental que la gestión de especies arbóreas introducidas esté basada en criterios ecológicos rigurosos, que tomen en cuenta tanto los beneficios inmediatos como los posibles efectos a largo plazo. Para ello, es recomendable priorizar el uso de especies nativas en proyectos de restauración ecológica y paisajismo urbano, ya que estas especies están adaptadas a las condiciones locales y sostienen las interacciones ecológicas de forma más equilibrada (CONANP, 2024).

En el caso de utilizar especies no nativas, es esencial realizar monitoreos periódicos para evaluar su impacto en la biodiversidad y en las funciones ecológicas de los ecosistemas.

México ha implementado diversas estrategias gubernamentales, legislativas y científicas para controlar las especies arbóreas introducidas y mitigar sus impactos ecológicos. A nivel legal, la Ley General de Equilibrio Ecológico y la Norma Oficial Mexicana NOM-059 establecen marcos normativos para la conservación de especies nativas y el control de especies invasoras. A través de programas como el Programa de Manejo Integral de Especies Invasoras de la CONANP, se busca restaurar ecosistemas afectados por especies exóticas mediante el uso de especies nativas y técnicas de manejo sostenible (SEMARNAT, 2005).

En el ámbito urbano, ciudades como Ciudad de México han implementado el Programa de Reforestación Urbana, promueve la sustitución de especies exóticas por nativas en parques y jardines, contribuyendo a la restauración de la biodiversidad local.

3.3 Clima semiseco (BS) y semiseco templado (BS1kw)

El clima semiseco, también conocido como seco estepario, se caracteriza por la presencia de lluvias escasas, alta evapotranspiración y una marcada variabilidad térmica entre estaciones. En este tipo de clima, la evaporación supera a la precipitación anual, lo que genera un déficit hídrico constante y limita el desarrollo de vegetación densa (CONABIO, 2010). Este clima se distribuye principalmente en zonas de transición entre regiones templadas y áridas, y se presenta en partes del norte, centro y algunas zonas del altiplano mexicano (SEMARNAT, 2010).

Dentro del clima semiseco existen subtipos como el semiseco templado y el semiseco semicálido, los cuales varían según la temperatura media anual y la altitud. En el caso del semiseco templado, la temperatura media anual suele ubicarse entre 16 y 18 °C, mientras que la precipitación fluctúa entre 400 y 500 mm por año (CONABIO, 2010). Esta condición climática impone restricciones al uso del suelo, ya que la mayor parte del año existe un balance hídrico negativo. De acuerdo con la SEMARNAT (2010), los climas semisecos de México presentan generalmente entre 300 y 600 mm de precipitación anual, lo que coincide con la definición internacional de zonas de estrés hídrico.

Otro rasgo importante del clima semiseco es la amplitud térmica: la temperatura puede variar más de 10 °C entre el día y la noche, e incluso más entre estaciones (CONAVI, 2018). Esto significa que las plantas deben enfrentar tanto condiciones de calor y radiación elevada durante el día, como temperaturas frías en invierno y durante las madrugadas. En años atípicos, se han registrado temperaturas superiores a los 30 °C en meses cálidos, lo cual intensifica la evaporación y la pérdida de humedad en el suelo (CONAVI, 2018).

Respecto a la vegetación, el clima semiseco favorece la presencia de matorral crassicaule, pastizales y comunidades xerófitas adaptadas a la sequía. Entre las especies frecuentes se encuentran nopales, pastos resistentes, huizaches, mezquites y cardonales (CONABIO, 2010). Estas plantas suelen presentar adaptaciones fisiológicas como cierre estomático en horas de mayor radiación, almacenamiento de agua en tejidos y raíces profundas para aprovechar la humedad subsuperficial. La distribución de este tipo de vegetación coincide

con las áreas en donde el estrés hídrico es constante y la precipitación estacional es breve (SEMARNAT, 2010).

En términos ecológicos, la presencia de vegetación xerófita ayuda a estabilizar el suelo y reducir la erosión, pero la cobertura vegetal puede disminuir rápidamente cuando se intensifica la ganadería extensiva o el uso agrícola sin manejo hídrico. En regiones como Zacatecas, Durango y Guanajuato, las zonas clasificadas como semiseco templado pueden abarcar hasta el 40 % del territorio municipal, por lo que su conservación y aprovechamiento sostenible son fundamentales para evitar problemas de desertificación (CONABIO, 2010; CONAVI, 2018).

En síntesis, el clima semiseco de México representa un ambiente de limitada disponibilidad de agua, marcado por temperaturas moderadas a cálidas, lluvias concentradas en lapsos cortos del año y una vegetación altamente adaptada. La comprensión de este tipo de clima es esencial para proponer estrategias de manejo del suelo y del agua, así como modelos de restauración ecológica y de agricultura sostenible en regiones con estrés hídrico permanente.

3.4 Adaptación de especies arbóreas

La adaptación de especies arbóreas se refiere a los procesos biológicos que permiten a los árboles ajustarse a las condiciones ambientales de su hábitat, optimizando sus posibilidades de supervivencia, reproducción y crecimiento en diferentes tipos de ecosistemas. Estos procesos involucran tanto características morfológicas como fisiológicas y ecológicas, que permiten a las especies afrontar las variaciones de temperatura, disponibilidad de agua, calidad del suelo, y competencia con otras especies vegetales. La adaptación puede ser resultado de una evolución a largo plazo, así como de respuestas inmediatas a cambios en el ambiente, tales como el cambio climático y las variaciones estacionales (Pérez, 2020).

Las especies arbóreas pueden presentar diversas características morfológicas adaptativas que les permiten afrontar condiciones ambientales difíciles, tales como la sequía o las temperaturas extremas. Una de las adaptaciones más comunes en las especies que habitan en climas secos o semiáridos es el desarrollo de raíces profundas. Estas raíces les permiten acceder a fuentes de agua subterránea que otras especies no pueden alcanzar. Asimismo, muchas especies desarrollan una cutícula gruesa en sus hojas para reducir la pérdida de agua

por transpiración, y sus hojas pueden ser más pequeñas o incluso en forma de acículas, lo que reduce aún más la evaporación (Martínez, 2019).

En términos fisiológicos, muchas especies arbóreas, como el *Pinus* y el *Quercus*, presentan mecanismos de resistencia a la sequía, que les permiten tolerar largos periodos sin agua. Estos árboles son capaces de reducir su tasa de transpiración al cerrar parcialmente sus estomas durante el día, lo que limita la pérdida de agua. También pueden ajustar su metabolismo para maximizar la eficiencia en el uso del agua disponible (Pérez, 2020). En ambientes más fríos, las especies adaptadas a climas templados o fríos, como ciertos fresnos y abedules, desarrollan estrategias de dormancia para hacer frente a los inviernos severos, deteniendo su crecimiento durante los meses fríos y reduciendo al mínimo la actividad metabólica (Villarreal, J. et al. 2018).

El cambio climático está modificando rápidamente las condiciones ambientales en muchas regiones del mundo, lo que está afectando las estrategias de adaptación de las especies arbóreas. En muchas zonas, el aumento de las temperaturas y la reducción de las precipitaciones están obligando a las especies a adaptarse más rápidamente o a desplazarse hacia nuevas áreas. Especies que anteriormente se encontraban en zonas frías pueden desplazarse hacia latitudes más altas o altitudes mayores en busca de un clima más adecuado (López, 2019). Sin embargo, este fenómeno también está promoviendo la expansión de especies invasoras que son capaces de colonizar rápidamente nuevos hábitats debido a su alta capacidad de adaptación (Ríos, 2020).

El estudio de las adaptaciones de las especies arbóreas tiene importantes implicaciones para la conservación de bosques y la gestión forestal. Comprender cómo las especies arbóreas se adaptan a las condiciones climáticas locales permite identificar las mejores estrategias de restauración y conservación en áreas afectadas por la degradación del suelo y los efectos del cambio climático. El uso de especies nativas en programas de reforestación, por ejemplo, puede garantizar que los ecosistemas sean más resistentes a los cambios ambientales, ya que estas especies ya están adaptadas a las condiciones locales (Martínez, 2019).

3.5 Características de adaptación

Las especies arbóreas han desarrollado una serie de características adaptativas que les permiten sobrevivir en una amplia gama de condiciones ambientales. Estas adaptaciones pueden ser morfológicas, fisiológicas, o fenológicas, y están relacionadas con la respuesta de las especies a factores como clima, competencia, disponibilidad de agua y nutrientes. Además, las características de adaptación de las especies arbóreas son fundamentales para su regeneración y distribución en el territorio, así como para su resiliencia frente a las perturbaciones naturales y humanas (Pérez, 2020).

3.5.1 Adaptaciones Morfológicas

Las adaptaciones morfológicas de las especies arbóreas son aquellas que involucran cambios en la estructura física de las plantas, lo que les permite afrontar de manera eficiente los retos ambientales. En regiones con climas áridos o semiáridos, muchas especies han desarrollado hojas con cutículas gruesas y cerosas, lo que reduce la pérdida de agua por transpiración. Las hojas de especies como el *Eucalyptus* y el *Pinus* presentan una forma alargada o aciculada, lo que minimiza la superficie de evaporación (González, 2019).

En los ambientes de alta radiación solar, algunas especies presentan hojas con mayor contenido de clorofila para maximizar la fotosíntesis, mientras que otras, en ambientes más oscuros, desarrollan hojas más grandes para captar más luz (Jiménez et al., 2019). Además, algunas especies tienen adaptaciones en su sistema radicular, como raíces profundas o ramificadas, que les permiten acceder a fuentes de agua subterránea en suelos secos, como ocurre en especies de *Acacia* y *Prosopis* (Pérez, 2020).

3.5.2 Adaptaciones Fisiológicas

Las adaptaciones fisiológicas permiten a las especies arbóreas manejar el estrés ambiental generado por las condiciones climáticas extremas, la falta de agua o las altas temperaturas. Un ejemplo claro de adaptación fisiológica es el cierre estomático durante las horas más calurosas del día. Este mecanismo se observa en especies como el *Quercus* y el *Carya*, que controlan la transpiración y limitan la pérdida de agua (González., 2019).

3.5.3 Adaptaciones Fenológicas

Las adaptaciones fenológicas son aquellas relacionadas con el ciclo de vida y el momento de la actividad biológica de las especies arbóreas. Muchas especies arbóreas en regiones con clima seco o variable han ajustado su ciclo de crecimiento a los períodos de disponibilidad de agua, iniciando su crecimiento y floración en la temporada de lluvias para asegurar una mayor disponibilidad de recursos (Jiménez, 2019).

Por ejemplo, en el clima semiseco de México, especies como el Fresno (*Fraxinus*), la Jacaranda y el Mezquite (*Prosopis juliflora*) presentan una floración estacional que coincide con las lluvias, lo que optimiza la germinación de sus semillas. En contraposición, especies de zonas más frías, como el Abeto (*Abies*), han desarrollado letargo invernal, que les permite detener el crecimiento durante los meses de frío y reanudarlo en primavera cuando las condiciones ambientales son más favorables (Pérez, 2020).

3.5.4 Adaptaciones a las Perturbaciones Ambientales

Las especies arbóreas también desarrollan adaptaciones para afrontar perturbaciones naturales y antropogénicas. Por ejemplo, las especies que habitan en zonas propensas a incendios, como algunas especies de *Pino* o *Eucalyptus*, han desarrollado adaptaciones serotínicas. Estas especies producen conos cerrados que sólo se abren con el calor del fuego, liberando sus semillas para que puedan germinar en el suelo renovado por el incendio (Martínez, 2021).

3.6 Supervivencia de especies

La supervivencia de especies de acuerdo a la CONABIO, (2006), no solo es un tema de cuántos individuos quedan, sino de cuán estables son sus poblaciones y si sus hábitats permiten que sigan existiendo.

Las categorías de riesgo que establece la NOM-059-SEMARNAT-2010, son una herramienta clave para evaluar qué especies están más vulnerables, lo que permite diseñar políticas de conservación (biodiversidad, 2022).

La restauración ecológica es una estrategia concreta para mejorar las posibilidades de supervivencia de especies amenazadas, especialmente en zonas donde su hábitat ha sido degradado.

El conocimiento geográfico como mapas de distribución potencial, es fundamental para priorizar esfuerzos de conservación, ya que permite identificar dónde actuar para proteger especies en mayores riesgos.

3.7 Factores que influyen en la supervivencia y crecimiento de las reforestaciones

3.7.1 Selección de especies

La selección de especies para un proyecto de reforestación depende directamente de los propósitos planteados, ya que las características de cada especie influyen en su capacidad para sobrevivir, crecer y competir. Cada tipo de planta necesita un conjunto particular de condiciones ambientales, conocidas como hábitat ecológico, y si estas faltan, su desarrollo se ve afectado. Por ello, es importante estudiar las características del lugar para determinar si es adecuado y si coincide con los objetivos del proyecto. Un sitio puede permitir el establecimiento de varias especies, y la elección final dependerá de la función que se busque cumplir, como mantener el suelo, capturar carbono o producir madera. Para identificar qué especies conviene plantar, se pueden observar las que crecen alrededor del área, las que alguna vez habitaron el sitio o las que prosperan en lugares con características ambientales semejantes. (Ruiz & Goche , 2016)

3.7.2 Importancia del origen de la semilla

De manera general, se recomienda utilizar plantas pertenecientes a especies y procedencias nativas o propias de la zona donde se realizará la reforestación, salvo que existan estudios que demuestren que otras procedencias presentan una mejor adaptación que las locales.

Aun así, hay otros criterios que deben considerarse para evaluar si una procedencia es adecuada para establecerse en un sitio específico. Por ejemplo, (Conkle, 2004) señala que el Servicio Forestal del Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA Forest Service) sugiere recolectar la semilla dentro de un radio no mayor a 100 millas (161 km) hacia el norte o sur del lugar de plantación, y que la diferencia de elevación entre el sitio de origen de la semilla y el sitio donde será plantada no exceda los 365 metros. Esto ayudaría a disminuir el riesgo de fracaso asociado a diferencias ambientales entre sitios.

Cuando las especies tienen una amplia distribución natural, es posible realizar ensayos de procedencia para seleccionar el material genético más adecuado. Estudios recientes han encontrado variación entre sitios de origen de la semilla y las áreas donde se plantará. Por ejemplo, (Reye & Murillo, 2016) observaron que en *Pinus lumholtzii* las semillas recolectadas a menos de 50 km mantienen mejor la variación genética local. Asimismo, (Hernández & Velasco, 2016) mostraron que en *Pinus devoniana*, *P. durangensis* y *P. teocote*, la distancia máxima recomendada entre el origen de la semilla y el sitio de plantación no debe superar los 5 km. Estos estudios concluyen que la estructura genética de cada especie depende tanto del sitio donde se desarrolla como de la distancia geográfica entre poblaciones.

3.7.3 Calidad de planta

Uno de los elementos clave para asegurar el éxito de una reforestación es la calidad del material genético y del tipo de reproducción de la planta seleccionada, lo cual se determina por su origen y reproducción. Las características morfológicas y fisiológicas de cada planta deben corresponder tanto a la especie como a las condiciones propias del sitio donde será establecida. Aunque estas condiciones varían, la planta debe cumplir con requisitos mínimos que permitan su supervivencia, enraizamiento y crecimiento adecuados (Landis, 2010).

En cuanto a la mortalidad registrada, se estima que alrededor del 57% de reforestaciones realizadas entre los años 2006 y 2014, tienen una calidad deficiente de las plantas, lo que representa cerca del 9.7% de las causas de fracaso (Ruiz & Goche , 2016).

La mortalidad observada en diversas reforestaciones reportada por distintas instituciones como la Universidad Autónoma Chapingo (2007, 2010, 2011, 2012, 2014, 2015), el Colegio de Postgraduados (2008) y la Universidad Autónoma de Nuevo León (2008), ha motivado a que la CONAFOR implemente estrategias para mejorar la producción de plantas en vivero. Una de estas acciones es la aplicación de la norma mexicana para la Certificación de la Operación de Viveros Forestales (NMX-AA-170-SCFI-2016), la cual establece los requisitos morfológicos mínimos que deben cumplir las plantas según la especie (Secretaría de Economía, 2016).

Aunque existen muchos rasgos morfológicos que pueden evaluarse para determinar la calidad de una planta al egresar del vivero, los más utilizados son la altura y el diámetro del tallo. El diámetro se considera un indicador clave de la supervivencia, mientras que la altura se vincula con el crecimiento futuro de la planta.

Las características del sitio también influyen en la selección del tamaño adecuado de la planta. Por ejemplo, plantas grandes, con tallos firmes y buen desarrollo, se recomiendan para zonas con altos niveles de humedad, mientras que plantas pequeñas con sistemas radicales más extendidos se adecuan mejor a áreas secas (Landis, 2010).

Además de los atributos morfológicos esenciales, es importante que la planta presente lignificación o endurecimiento al menos dos meses después de su trasplante al vivero, pues esto la prepara para soportar condiciones ambientales adversas. También es necesario controlar la disponibilidad de agua y evitar el uso excesivo de fertilizantes nitrogenados (Ruiz & Goche , 2016).

En resumen, para plantaciones de coníferas de clima templado frío en zonas forestales, las plantas deben cumplir con ciertos criterios mínimos: un diámetro de cuello igual o mayor a 4 mm, una altura entre 12 y 30 cm cuando la especie no es cespitosa, un sistema radical abundante y con puntas de crecimiento activas, además de estar sanas, vigorosas y sin daños físicos (Secretaría de Economía, 2016).

Finalmente, la norma mexicana NMX-AA-170-SCFI-2016 especifica que las características morfológicas mínimas y máximas que deben cumplir las especies utilizadas en los programas de reforestación en climas templados fríos y tropicales de México (Ruiz & Goche , 2016).

3.7.4 Preparación del sitio

Para asegurar que el sitio donde se realizará la plantación ofrezca las mejores condiciones para que las plantas se establezcan y crezcan en el menor tiempo posible (Mas, 2003), o para minimizar los factores que puedan afectar negativamente a la especie (Capó, 2015), es esencial preparar adecuadamente el terreno. Esta preparación, por lo general, incluye labores específicas tanto sobre la vegetación existente como sobre el suelo.

Para asegurar que el área destinada a la plantación reúna las condiciones adecuadas para que las plantas se establezcan y crezcan en el menor tiempo posible y que, además, se minimicen los factores que podrían afectar negativamente a la especie forestal seleccionada, es esencial realizar una adecuada preparación del terreno. Este proceso normalmente implica intervenir tanto la vegetación presente como el suelo.

Mediante el tratamiento de la vegetación se acondiciona el terreno para la plantación, eliminando la competencia que pueda afectar el crecimiento de las plantas, ya sea por sombra, luz, humedad o nutrientes. Dicho tratamiento suele consistir en la remoción de la vegetación herbácea y arbustiva, y puede realizarse manualmente, con herramientas mecánicas o incluso con productos químicos cuando se considere necesario. En algunos casos se combinan dos o más métodos de manera simultánea o complementaria (Ruiz & Goche , 2016).

La preparación del suelo depende de las características del lugar, de las necesidades de la especie vegetal que se desea establecer y de las condiciones climáticas, especialmente del régimen de lluvias. El objetivo es captar mejor el agua de precipitación y evitar la erosión.

El tratamiento al suelo se lleva a cabo para mejorar las condiciones del sitio antes de la plantación; en términos generales, cuanto más degradado o de menor calidad sea el suelo, mayor debe ser la intervención aplicada. Cuando existen distintos niveles de erosión, pedregosidad o acidez, es necesario analizar y definir el tratamiento idóneo para hacer que el

terreno sea más adecuado para cumplir con los objetivos de la reforestación (Ruiz & Goche , 2016).

3.7.5 Traslado de la planta

En relación al Manual básico de prácticas de reforestación (CONAFOR, 2010) el traslado de plantas desde el vivero hasta el sitio de reforestación, debe realizarse cuidadosamente para evitar daños a la planta en el tallo, la raíz o el envase. Para reducir riesgos se recomienda:

- Procurar que la distancia entre el vivero y la plantación no supere los 100 km.
- Elegir una hora adecuada y mantener una velocidad moderada para evitar la exposición al sol y viento y evitar movimientos bruscos.
- Llevar solo la cantidad de plantas que el vehículo pueda transportar sin sobrecarga, protegiéndolas con malla sombra.
- No apilar charolas ni colocar objetos encima de las plantas.
- Descargar en un terreno plano para evitar pérdida de tierra del cepellón.
- Al descargar y distribuir las plantas, tomar los contenedores por las orillas, nunca tomar las plantas por los tallos, únicamente del envase.

3.7.6 Distribución de planta

La forma en que se distribuyen las plantas en el terreno puede organizarse de distintas maneras, principalmente en un diseño sistemático o regular y aleatorio o irregular.

Sistemático o regular: En la distribución sistemática, las plantas se colocan siguiendo un orden uniforme dentro del terreno. Este método se aplica cuando el área presenta condiciones homogéneas y no tiene vegetación previa. Además, si la superficie destinada a la reforestación es amplia, este tipo de diseño permite utilizar maquinaria para preparar el suelo (Ruiz & Goche , 2016).

Un patrón sistemático facilita la mecanización y hace más sencillas tanto la preparación del terreno como las actividades posteriores: plantación, mantenimiento, limpias, podas y

cosecha. Por esta razón, se recomienda especialmente en plantaciones industriales, comerciales o productivas.

Aleatorio o irregular: Este tipo de distribución no sigue un patrón fijo. Se aplica principalmente cuando el terreno presenta variaciones, es pequeño o tiene vegetación que compite con las plantas, así como cuando existen suelos pedregosos o con características irregulares. La distribución aleatoria permite seleccionar los mejores espacios para plantar y, en ciertos casos, es más adecuada cuando se busca fomentar la regeneración natural. Además, favorece la presencia de diferentes especies al no mantener densidades altas ni uniformes (Ruiz & Goche , 2016).

La elección de un arreglo irregular depende de factores como la topografía, la forma en que se prepara el suelo, la presencia de vegetación competidora u obstáculos, así como los objetivos específicos de la plantación relacionados con conservación, protección o la combinación de diversas especies.

3.7.7 Densidad de plantación

Las fórmulas para calcular la cantidad de plantas por hectárea se basan en la relación entre la superficie disponible y el espacio que ocupa cada planta según la distancia entre individuos y entre líneas. Por lo que la determinación del número de plantas a reforestar por hectárea debe considerar la calidad o índice de sitio, de tal manera que la fertilidad del suelo y condiciones climáticas permitan el establecimiento y desarrollo óptimo de las plantas.

3.7.8 Época de plantación

Un elemento clave para lograr el éxito en las reforestaciones es elegir adecuadamente la época en que se plantarán los árboles. Esto se debe a que factores como la humedad disponible en el sitio, el inicio de las lluvias y la variación climática influyen directamente en el establecimiento de las plantas. Normalmente se recomienda plantar al comienzo del periodo lluvioso y evitar hacerlo después, pues cuanto más tarde se realice la plantación, mayor es el riesgo de que las plantas sufran estrés por los cambios bruscos en temperatura, disponibilidad de humedad y luz. (Ruiz & Goche , 2016).

En México, en las zonas de clima templado frío, las lluvias favorables suelen presentarse entre finales de junio y septiembre, constituyendo la principal fuente de humedad hasta que inicia el siguiente ciclo lluvioso. Algunos años, las precipitaciones se extienden a octubre o principios de noviembre, e incluso pueden ocurrir en invierno, aunque de manera irregular y generalmente en pequeñas cantidades. (Ruiz & Goche , 2016).

Las plantas que se establecen durante el verano deben enfrentarse al invierno y a la escasez de humedad del ciclo siguiente. Además, en esta estación pueden darse temperaturas muy bajas que ocasionen daños o muerte, pues durante el invierno la actividad metabólica de las plantas disminuye notablemente. En primavera también se presentan condiciones complicadas para las plantas sembradas en verano, ya que el suelo suele presentar menos humedad y nutrientes disponibles. Asimismo, este periodo se caracteriza por un aumento en la temperatura antes de que lleguen las lluvias de junio.

La elección del momento adecuado para plantar depende de los factores climáticos específicos del sitio (Landis, 2010), principalmente de la disponibilidad de humedad. Por ello, la plantación debe realizarse en la primera mitad de la temporada de lluvias, cuando la humedad es suficiente para que las raíces penetren todo el cepellón y luego avancen más allá, asegurando al menos un tercio del periodo de lluvias para un crecimiento continuo.

Plantar en el momento correcto ofrece grandes ventajas, ya que permite una mejor supervivencia y un desarrollo más sano. Esto se debe a que las raíces podrán expandirse con mayor velocidad fuera del cepellón y aumentar el área de contacto con el suelo, lo que facilita el arraigo y el crecimiento. Además, las temperaturas del verano favorecen un desarrollo más estable y vigoroso.

Por el contrario, realizar plantaciones tardías implica riesgos: la humedad del suelo puede disminuir rápidamente, las temperaturas bajan al acercarse el otoño y el periodo favorable para el crecimiento se acorta. Esto provoca que el sistema radical crezca menos y la planta quede más vulnerable a las bajas temperaturas del invierno, ya que tuvo menos tiempo de desarrollo en condiciones ambientales ideales.

3.7.9 Cuidados y mantenimiento

Además de la plantación, existen otras labores necesarias para asegurar el buen establecimiento de los árboles, entre las cuales se encuentran las siguientes:

Cajeteo: Consiste en aflojar y mover la tierra alrededor de la planta para formar un pequeño cajete y un borde circular de al menos 30 cm de diámetro. Este espacio permite captar y mantener el agua de lluvia o de riego para usarla cuando sea necesario (Ruiz & Goche , 2016).

Cercado: Implica instalar una cerca con entre cuatro y cinco hilos de púas alrededor del área reforestada. Esta barrera física evita que el ganado entre al sitio y pueda dañar la plantación (Ruiz & Goche , 2016).

Fertilización: Se refiere al uso de fertilizantes en forma granulada, los cuales pueden colocarse en el fondo del hoyo al momento de plantar, o aplicarse superficialmente y cubrirse con tierra después de la siembra (Ruiz & Goche , 2016).

Control de malezas: Consiste en retirar las hierbas que crecen cerca de las plantas y que podrían afectar su crecimiento o supervivencia. Estos efectos negativos pueden deberse a la competencia por luz, humedad y nutrientes, o porque las malezas facilitan la presencia de roedores que pueden dañar las plantas. Además, una alta cantidad de material vegetal seco incrementa el riesgo de incendios, lo cual es especialmente peligroso en zonas reforestadas. Por ello, la eliminación de malezas debe realizarse con regularidad durante toda la fase de establecimiento, sobre todo en los primeros años.

3.7.10 Monitoreo y evaluación

El monitoreo consiste en realizar evaluaciones continuas y periódicas que consideran aspectos cuantitativos y cualitativos de la vegetación. En términos generales, su finalidad es conocer cómo cambia la plantación con el tiempo y en el espacio, determinar su condición fisiológica y detectar a tiempo posibles problemas que puedan afectar el desarrollo de la reforestación. Esto facilita aplicar soluciones adecuadas, tomar medidas de mitigación y contar con la información necesaria para mejorar las prácticas silvícolas (Ruiz & Goche , 2016).

Una evaluación adecuada de una plantación forestal requiere un croquis del área, donde se indiquen los sitios de muestreo, las distancias entre ellos, entre fajas, y la orientación de los transectos.

En el ámbito forestal, establecer una plantación implica una inversión considerable; por ello, es esencial evaluar de manera oportuna las necesidades y monitorear el desempeño, con el propósito de garantizar el éxito a largo plazo.

Recientemente se han creado programas informáticos que permiten agilizar la estimación y comparación de costos e ingresos potenciales tanto en la producción de plantas en viveros como en las reforestaciones y plantaciones comerciales bajo distintos escenarios. Además, estos simuladores permiten llevar un registro actualizado de precios, insumos utilizados y ventas conforme se presentan.

Diseños de muestreo de acuerdo con Benavides (2010):

a) Muestreo sistemático.

Consiste en colocar las unidades de muestreo de forma regular, siguiendo intervalos previamente fijados. Por lo general se forma una cuadrícula dentro del área a evaluar, manteniendo distancias conocidas entre líneas e hileras.

b) Muestreo completamente al azar.

En este diseño, todos los sitios posibles dentro de la población tienen la misma probabilidad de ser seleccionados. La elección de cada sitio es independiente de las demás unidades de muestreo.

Forma y tamaño de los sitios: Los sitios pueden tener distintas formas: rectangulares, cuadrados o circulares. Varios autores recomiendan los sitios circulares porque permiten establecer una superficie máxima con un número reducido de mediciones. El tamaño del sitio depende del espaciamiento entre plantas y de las variables que se medirán.

Autores como Torres y Magaña (2001) y Gallegos (2006) sugieren usar entre 20 y 30 árboles por sitio, ya que esto incrementa la precisión y confiabilidad de la información. El tamaño del sitio también depende de la densidad de árboles por hectárea. Cuando hay entre 500 y 800 árboles/ha, se recomiendan sitios circulares de 500 m² con un radio de 12.62 m. Si hay

entre 900 y 1,200 árboles/ha, se sugieren sitios de 250 m² con un radio de 8.92 m (Benavides, 2010).

El tamaño de los sitios se diseñó inicialmente para evaluar la supervivencia, pero también generan información útil sobre el crecimiento en diámetro y altura.

Existen métodos adicionales para plantaciones, como las “tripletas” (Rojas, 2014), donde se seleccionan tres árboles al azar para evaluar si están vivos o muertos. Se hacen repeticiones según la intensidad de muestreo requerida (3%, 5%, etc.), avanzando en forma sistemática en la plantación para evaluar tres hileras a la vez, lo que permite determinar la supervivencia.

3.7.11 El factor social y su relación con las reforestaciones

En México, avanzar hacia un desarrollo forestal sustentable implica enfrentar retos importantes, como detener la deforestación de bosques y selvas, así como incrementar la generación de bienes y servicios provenientes de los ecosistemas forestales. Para ello se busca fortalecer la productividad del bosque natural mediante el diseño de distintos esquemas de creación de plantaciones forestales con fines industriales y comerciales (Simula, 2011).

En el caso de las plantaciones forestales comerciales, aún existen diversos obstáculos, entre ellos la sobre regulación, limitaciones para introducir o desarrollar especies exóticas de alto rendimiento, falta de estímulos fiscales y apoyos gubernamentales, así como la percepción de que otros sectores económicos ofrecen mejores beneficios frente a los costos y riesgos de este tipo de plantaciones. A ello se suma la escasez de estudios de mercado y la ausencia de planes de negocio adecuados.

Por otra parte, los productos obtenidos de las reforestaciones generalmente no se orientan a cubrir la demanda del mercado, lo cual se combina con el “poco conocimiento de la actividad por parte de las personas dueñas o poseedoras de la tierra y la falta de confianza de los inversionistas para vincularse con el sector social con fines de desarrollar plantaciones forestales comerciales” (Secretaría de Gobernación, 2014).

Los programas de restauración, rehabilitación y reforestación tienen un papel clave desde las perspectivas ambiental, económica y social. Sin embargo, si la degradación de los bosques continúa, la productividad forestal disminuirá, afectando tanto a comunidades.

Por ello, es esencial reconocer el papel de ejidos y comunidades forestales como actores que no solo se benefician, sino que también son fundamentales para enfrentar los desafíos y problemas internos relacionados con las reforestaciones.

La participación de estas comunidades puede ser muy relevante en la restauración de zonas degradadas, ya que pueden apoyar la regeneración natural a bajo costo mediante acciones como proteger áreas contra incendios, evitar el pastoreo sin control o reducir la tala ilegal. Sin embargo, para lograrlo se requiere definir con claridad los incentivos que recibirán por su participación.

A partir del análisis previo, se proponen varias estrategias para reforzar la apropiación y el compromiso social, especialmente de ejidos y comunidades forestales, con el fin de obtener mayores beneficios económicos, sociales y ambientales:

Implementar modelos de gestión participativa, que integren actividades de sensibilización comunitaria, diagnósticos y planeación conjunta, elaboración de planes de manejo y ordenamientos territoriales para la conservación de recursos; así como prácticas de manejo, reforestación y capacitación técnica continua para una gestión integral.

Crear y fortalecer mecanismos con capacidad adaptativa, que incluyan incentivos económicos y financieros dirigidos a las comunidades, con el objetivo de evidenciar el impacto social y económico de los proyectos de reforestación y plantaciones forestales comerciales.

Impulsar el fortalecimiento del capital humano y social dentro de ejidos y comunidades, promoviendo procesos de organización y concientización orientados al desarrollo forestal sustentable, especialmente en temas de reforestación.

Promover alianzas entre instituciones educativas, de investigación, ONG y comunidades a locales, de manera que se garanticen procesos de investigación con base en necesidades reales y se compartan responsabilidades para apoyar el desarrollo forestal comunitario, incluyendo específicamente la planeación y ejecución de reforestaciones y plantaciones forestales comerciales.

3.8 Causas de mortalidad de las reforestaciones y propuestas de mejora

3.8.1 Sequia

La sequía se define como un periodo prolongado de escasez de lluvia, en el cual la cantidad de agua disponible en una región es menor a los niveles habituales, lo que resulta insuficiente para cubrir las necesidades fisiológicas de las plantas. Bajo estas condiciones, las plantas no logran ajustarse a la falta de humedad que predomina durante su primer año después de la temporada de lluvias, lo que puede ocasionar su muerte (Ruiz & Goche , 2016).

Esta problemática se relaciona con diversos factores, como humedad irregular o por debajo del promedio anual; plantaciones realizadas al final de la temporada de lluvias, que impiden que las raíces se establezcan adecuadamente; bajas temperaturas durante el invierno, que generan estrés; especies o procedencias que no toleran ambientes secos; y una preparación deficiente del terreno basada en características inadecuadas del sitio o el uso de plantas de mala calidad.

Se recomienda plantar de manera oportuna, preferentemente al inicio de la temporada de lluvias, y emplear especies locales o procedencias que se ajusten a las condiciones de temperatura y humedad del sitio, así como materiales resistentes a eventos climáticos extremos que puedan presentarse. También es importante considerar las propiedades del suelo y utilizar plantas que cumplan con las características morfológicas y fisiológicas establecidas en la norma mexicana NMX-170-SCFI-2016 (Ruiz & Goche , 2016).

Además, es necesario preparar adecuadamente el terreno para asegurar que el suelo alrededor de la raíz sea lo suficientemente suave, tomando en cuenta aspectos como la profundidad y dureza del suelo.

Entre las prácticas recomendadas para la preparación del terreno, dependiendo de las características del sitio, se encuentran: subsolado, rastreo, chaponeo, terrazas, surcos en contorno o nivel, tinas ciegas y la construcción de trincheras o cajetes para retener la humedad. Otra alternativa es aplicar riegos de auxilio o implementar obras de conservación de suelo y agua.

3.8.2 Heladas

En algunas áreas, la presencia de temperaturas extremadamente bajas puede causar daños, ya sean parciales o totales, en los tejidos de las plantas, especialmente cuando sus tallos y hojas son tiernos.

Se recomienda realizar la reforestación utilizando plantas de buena calidad y con tejidos ya endurecidos. Además, es fundamental elegir especies o procedencias que estén naturalmente adaptadas a enfrentar el estrés causado por temperaturas muy bajas (Ruiz & Goche , 2016).

3.8.3 Exceso de humedad

En ciertos lugares, las plantas quedan sometidas a un exceso de humedad debido a que se encuentran en zonas bajas o sitios constantemente húmedos. Esto genera un crecimiento deficiente y, en muchos casos, puede causar la muerte de la planta, ya que no está adaptada a este tipo de condiciones (Ruiz & Goche , 2016).

Se recomienda evitar la plantación en áreas con exceso de humedad o, cuando esto no sea posible, optar por especies que estén adaptadas a esos ambientes. Si es necesario plantar en tales condiciones, se deben aplicar prácticas que mejoren el drenaje del sitio de plantación.

3.8.4 Fecha inadecuada de plantación

Plantar tardíamente reduce notablemente las probabilidades de que la planta logre establecerse en el sitio de plantación. En las reforestaciones que se realizan hacia el final de la temporada de lluvias, la humedad disponible para el desarrollo inicial de las plantas es mucho menor. En las regiones norte y centro del país, las últimas lluvias del verano suelen presentarse entre principios de julio y finales de septiembre; después de este periodo inicia una fase de transición caracterizada por temperaturas elevadas y una rápida disminución de la humedad (Ruiz & Goche , 2016).

En cada región debe identificarse el momento más conveniente para realizar la plantación. Por ejemplo, en zonas con clima templado, la temporada de lluvias suele concentrarse en un lapso aproximado de dos a tres meses; en esos casos, lo ideal es iniciar la plantación al

comienzo de ese periodo y procurar que la fecha de establecimiento quede dentro del primer mes de lluvias. En las regiones norte y centro del país, se sugiere comenzar las reforestaciones a inicios de julio y no retrasarlas más allá de mediados de agosto (Ruiz & Goche , 2016).

Para estimar una fecha probable de inicio de plantación, es necesario revisar registros históricos de precipitación máxima, mínima y media, ya que estas variables presentan fluctuaciones anuales. Además, es fundamental considerar las labores de preparación del terreno que puedan realizarse antes y después de plantar, sobre todo la disponibilidad y oportunidad de la humedad esperada en el periodo de lluvias

3.8.5 Planta de baja calidad

La calidad de una planta está vinculada a sus rasgos morfológicos y fisiológicos, los cuales determinan su capacidad para sobrevivir y crecer correctamente en el lugar donde será establecida. Cuando una planta presenta deficiencias, su enraizamiento y desarrollo en áreas reforestadas se ven afectados (Ruiz & Goche , 2016).

Con frecuencia se emplean plantas que muestran problemas como: diámetro del cuello menor a 4 mm y altura inferior a 12 cm, sistemas radicales con pocas zonas de crecimiento, raíces envejecidas o enroscadas en el fondo del envase por falta de podas adecuadas o por haber permanecido demasiado tiempo en el contenedor. También pueden presentar clorosis u otros síntomas relacionados con deficiencias nutricionales, desequilibrios entre la altura y el grosor del tallo según el tipo de envase, succulencia y baja lignificación, además de daños mecánicos o presencia de plagas o enfermedades, resultando en plantas raquílicas (Ruiz & Goche , 2016).

Se recomienda usar plantas que cumplan con los criterios morfológicos y fisiológicos establecidos en la norma mexicana NMX-170-SCFI-2016 (Secretaría de Economía, 2016). Es fundamental seleccionar plantas en buen estado, libres de daños físicos o mecánicos y sin deformaciones en la parte aérea ni en el sistema radical.

Realizar estudios foliares para determinar cuánto N-P-K han absorbido las plantas y asegurarse de que la disponibilidad de nutrientes sea la adecuada para el buen desarrollo de las plántulas. Además, es importante empacar y trasladar las plantas de manera correcta,

plantarlas tan pronto como lleguen al sitio de reforestación y aplicar fertilización al momento de la plantación, tomando en cuenta las necesidades de la planta y las condiciones nutricionales del suelo en cada lugar.

3.8.6 Competencia con vegetación

La competencia entre las plántulas y otras plantas del entorno ocurre por recursos como humedad, nutrientes, luz y espacio. Las plántulas recién establecidas suelen tener poca capacidad para competir contra las malezas, lo que provoca que pierdan vigor. Esta situación puede manifestarse en un crecimiento limitado, deformado o, incluso, causar la muerte de la planta (Ruiz & Goche , 2016).

Se recomienda evitar o reducir la presencia de maleza para disminuir los efectos negativos que pueda generar. Esto implica su remoción o control mediante métodos mecánicos, biológicos o químicos.

3.8.7 Pastoreo

La presencia de ganado, sin importar la especie, afecta negativamente a las plantas recién establecidas, ya que puede ocasionar daños físicos o incluso provocar su muerte por pisoteo o ramoneo. Además, el tránsito de estos animales deteriora los cajetes y compacta el suelo (Ruiz & Goche , 2016).

Proteger las plantas del ganado mediante la instalación de cercos alrededor de las áreas reforestadas y promover la sensibilización de las comunidades cercanas sobre la importancia de resguardar las zonas reforestadas, especialmente durante los primeros años de crecimiento de las plantas.

3.8.8 Selección de especies y / o procedencias inapropiadas

Frecuentemente, al elegir la procedencia o la especie a plantar, no se consideran adecuadamente las condiciones ambientales como humedad, temperatura y luz, las características del suelo como tipo y profundidad, ni los aspectos fisiográficos del área como

la topografía y exposición. Cada especie requiere condiciones específicas para su desarrollo; por ello, la falta de correspondencia entre las necesidades de las plantas y las características del sitio afecta la adaptación y el rendimiento de las reforestaciones. En consecuencia, una selección incorrecta de especies o procedencias provoca altas tasas de mortalidad y un crecimiento deficiente (Ruiz & Goche , 2016).

Se recomienda utilizar especies o procedencias nativas y adaptadas a las condiciones climáticas, del suelo y fisiográficas del lugar. Por lo tanto, antes de plantar, es indispensable evaluar las características del sitio y, con base en ello, elegir los materiales vegetales que tengan mayores probabilidades de sobrevivir y desarrollarse adecuadamente.

3.8.9 Fauna nociva

En algunas áreas hay fauna silvestre que perjudica las reforestaciones, especialmente ciertos roedores, por ejemplo, liebres y tuzas y animales defoliadores, como hormigas. La liebre, frecuente en zonas semiáridas, roe la corteza o consume partes de las plantas provocando daños parciales o incluso la pérdida total de los brotes. Las tuzas suelen cortar el tallo cerca de la unión con las raíces, lo que también mata a las plantas.

Emplear plantas más lignificadas y proteger las plántulas tras la reforestación para disminuir el impacto. Realizar monitoreos periódicos de la reforestación para detectar a tiempo la presencia de fauna dañina y aplicar medidas de control cuando sea necesario (Ruiz & Goche , 2016).

3.8.10 Incendios

Esta situación suele presentarse cuando en el área de plantación se acumula demasiado material combustible y no se realizó una limpieza adecuada. El fuego puede generar daños graves en las plantas, especialmente si son muy jóvenes, e incluso llegar a causar la pérdida total de la reforestación.

Antes de iniciar la plantación, es necesario retirar el material combustible sobrante, abrir brechas cortafuego a intervalos adecuados y alrededor del terreno reforestado, y mantener

despejados los caminos y el perímetro del sitio, especialmente después de la temporada de lluvias, para evitar incendios (Garcerán & Álvarez, 2003).

3.8.11 Técnicas inadecuadas de preparación del terreno

Esta situación suele presentarse cuando en el área de plantación se acumula demasiado material combustible y no se realizó una limpieza adecuada. El fuego puede generar daños graves en las plantas, especialmente si son muy jóvenes, e incluso llegar a causar la pérdida total de la reforestación.

Antes de iniciar la plantación, es necesario retirar el material combustible sobrante, abrir brechas cortafuego a intervalos adecuados y alrededor del terreno reforestado, mantener despejados los caminos y el perímetro del sitio, especialmente después de la temporada de lluvias, para evitar incendios (Ruiz & Goche, 2016).

3.8.12 Técnicas inadecuadas al plantar

Cada planta que se coloque incorrectamente en el sitio de plantación tendrá dificultades para sobrevivir y desarrollarse adecuadamente. Una mala postura del árbol, como dejarlo inclinado, enterrarlo demasiado profundo o demasiado superficial, puede provocar que el cepellón quede expuesto o que una parte de la raíz principal quede descubierta; esto causa un mal desarrollo y puede llevar a la muerte del ejemplar por falta de humedad en el sistema radical.

Otros errores frecuentes incluyen dejar raíces dobladas o enroscadas, lo que impide que se fijen bien al suelo; colocar el cepellón en contacto con suelo compactado sin aflojar, lo cual dificulta la aireación y ralentiza el crecimiento; y plantar en un suelo con escasa ventilación o con raíces de otras plantas invadiendo el espacio. También es común poner poca tierra alrededor del cepellón, lo que puede causar un exceso de aire y favorecer la desecación. Finalmente, en ocasiones se introduce la planta sin retirar la bolsa de plástico, lo cual restringe el crecimiento de las raíces (Ruiz & Goche, 2016).

Por lo anterior, es importante capacitar y supervisar al personal encargado antes del inicio de las actividades de reforestación, además de monitorear todo el proceso de plantación, usando las herramientas adecuadas para colocar cada planta correctamente.

3.8.13 Plagas o enfermedades

En algunas ocasiones, se emplean plantas que ya presentan plagas o enfermedades al momento de la plantación. La presencia de estos agentes bióticos puede modificar el metabolismo de las plantas, afectar su crecimiento e incluso provocar su muerte parcial o total, lo que compromete el éxito de la reforestación. Entre las plagas y enfermedades más frecuentes se encuentran la gallina ciega, barrenadores de yemas y pudriciones ocasionadas por hongos, entre otras, las cuales pueden causar daños en la raíz o el follaje (Ruiz & Goche, 2016).

Utilizar plantas sanas, libres de plagas y enfermedades. Además, es necesario revisar periódicamente el estado de las plantas ya establecidas para detectar a tiempo cualquier presencia de agentes dañinos y, en caso de presentarse, aplicar las medidas fitosanitarias correspondientes.

3.8.14 Vandalismo

En algunas ocasiones, las reforestaciones resultan afectadas por personas que dañan intencionalmente las plantas, ya sea mediante su destrucción, corte o extracción, de manera deliberada y sin justificación.

3.8.15 Falta de educación y compromiso

Aunque parte de la mortalidad observada en las reforestaciones se relaciona con factores bióticos y abióticos, el componente humano sigue siendo determinante en los resultados obtenidos. La falta de conocimiento sobre la importancia de las reforestaciones, así como la apatía e indiferencia, han provocado el incumplimiento de responsabilidades, baja participación de algunos actores que intervienen en el proceso y fallas dentro de la cadena

productiva. Asimismo, se presentan deficiencias en aspectos técnicos como la recolección y manejo de semillas, la producción de plantas y la instalación adecuada de las plantaciones (Ruiz & Goche , 2016).

(Burney, 2015) señalan que, tras analizar el estado de la reforestación en México, uno de los factores que más ha afectado su éxito es precisamente la falta de educación.

Para mejorar los resultados de las reforestaciones es esencial planificar correctamente las actividades. Esto implica garantizar la procedencia adecuada de la semilla, su recolección y manejo apropiados, la producción de plantas de calidad, la preparación del terreno, el transporte adecuado, el establecimiento de la plantación y el seguimiento posterior.

Además, fortalecer los viveros, actualizar la tecnología y asegurar la capacitación continua del personal de vivero y de quienes administran los programas locales de reforestación resulta indispensable para consolidar sistemas forestales sostenibles (Burney, 2015).

De igual forma, es necesario implementar talleres dirigidos a las comunidades implicadas, con materiales claros como carteles y guías visuales, especialmente cuando existen barreras lingüísticas o niveles bajos de alfabetización (Burney, 2015).

3.10 Reforestaciones urbanas

Las reforestaciones urbanas se refieren al proceso de plantación de árboles en áreas urbanas con el objetivo de restaurar o aumentar la cobertura vegetal en las ciudades. Este tipo de reforestación ha ganado relevancia en las últimas décadas debido a los beneficios ecológicos, sociales y económicos que ofrece. Las ciudades enfrentan crecientes desafíos relacionados con el cambio climático, la contaminación del aire, y la pérdida de biodiversidad, lo que ha llevado a la implementación de programas de reforestación urbana como estrategia para mitigar estos problemas (García & Pérez, 2020).

Estas reforestaciones urbanas ofrecen una serie de beneficios ecológicos cruciales para las áreas urbanas. Uno de los más importantes es la mejora de la calidad del aire. Los árboles actúan como filtros naturales, absorbiendo dióxido de carbono (CO₂) y liberando oxígeno (O₂), lo que contribuye a la reducción de gases contaminantes. Además, mediante el proceso de transpiración, los árboles ayudan a enfriar el ambiente urbano, disminuyendo el efecto isla

de calor que caracteriza a muchas ciudades (López, 2018). Estudios como el de Pérez & Rodríguez (2019) han demostrado que, en áreas urbanas, los árboles son eficaces para reducir la temperatura local en hasta 5°C durante los meses más calurosos, lo que mejora el confort térmico y reduce la necesidad de energía para refrigeración.

Otro beneficio ecológico significativo es la captura de agua de lluvia. Los árboles urbanos ayudan a reducir el escurrimiento superficial y aumentan la infiltración del agua en el suelo, lo que contribuye a la gestión sostenible del agua en las ciudades, un aspecto crucial en lugares donde el acceso al agua es limitado o donde se presentan inundaciones frecuentes (García & Pérez, 2020).

Desde el punto de vista social, las reforestaciones urbanas promueven la salud pública. Diversos estudios indican que el acceso a áreas verdes y espacios reforestados mejora el bienestar psicológico de los habitantes urbanos, reduciendo los niveles de estrés y promoviendo la actividad física (Jiménez, 2019). Las áreas verdes también fomentan la cohesión social y proporcionan espacios para la recreación y el esparcimiento, lo que mejora la calidad de vida en las ciudades.

La elección de las especies arbóreas adecuadas es un aspecto fundamental en los proyectos de reforestación urbana. Es importante seleccionar especies que no solo se adapten bien al clima local y las condiciones del suelo, sino que también sean resistentes a plagas y enfermedades y no representen una amenaza para la biodiversidad local. La diversidad de especies es un factor clave para aumentar la resiliencia ecológica de los ecosistemas urbanos, ya que las especies nativas suelen ser más adaptables y menos propensas a convertirse en especies invasoras (Pérez & Rodríguez, 2019). Sin embargo, algunas especies exóticas también pueden ser utilizadas en ciertos contextos, siempre y cuando se evalúen adecuadamente sus efectos potenciales sobre los ecosistemas urbanos.

El uso de especies nativas es especialmente relevante, ya que estas especies están mejor adaptadas a las condiciones climáticas y ecológicas locales, y contribuyen a la conservación de la biodiversidad urbana (García & Pérez, 2020). Es importante, sin embargo, realizar un análisis exhaustivo sobre las necesidades hídricas, la tolerancia al viento y la capacidad de crecimiento de las especies antes de su siembra. El uso de especies adaptadas a las condiciones urbanas también facilita la sostenibilidad de los proyectos de reforestación, ya

que las especies bien adaptadas requieren menos mantenimiento y son más resistentes a las condiciones cambiantes del entorno (López, 2018).

A pesar de los múltiples beneficios que ofrecen las reforestaciones urbanas, existen varios desafíos y limitaciones que deben ser abordados para garantizar su éxito. Uno de los principales desafíos es la competencia por espacio en las ciudades, donde el terreno disponible para la plantación de árboles es limitado y frecuentemente está ocupado por infraestructuras urbanas como carreteras, edificios y redes de servicios (Jiménez, 2019). Las condiciones de compactación del suelo también son un reto importante, ya que en las ciudades el suelo tiende a estar muy compactado debido a la urbanización, lo que dificulta el establecimiento de raíces profundas y el desarrollo saludable de los árboles.

Otro desafío relacionado con las reforestaciones urbanas es el mantenimiento de los árboles una vez plantados. Las plagas, las enfermedades y la contaminación pueden afectar la salud de los árboles y comprometer los beneficios que se esperan obtener de los proyectos de reforestación (López, 2018). Por lo tanto, los programas de reforestación deben ir acompañados de estrategias de mantenimiento y seguimiento a largo plazo, que aseguren el cuidado de los árboles y su integración efectiva en el entorno urbano.

En México, diversas ciudades han implementado programas de reforestación urbana para mitigar los efectos del cambio climático y mejorar la calidad de vida en las áreas urbanas. Un ejemplo es el Programa de Reforestación Urbana en la Ciudad de México, donde se han plantado miles de árboles en áreas clave, como parques, avenidas y jardines públicos (García & Pérez, 2020). Este programa busca no solo aumentar la cobertura vegetal, sino también involucrar a la ciudadanía en el proceso, promoviendo la participación comunitaria y la educación ambiental.

3.11 Descripción general de las especies evaluadas

3.11.1 *Ligustrum lucidum* W.T. Aiton

Considerada una especie exótica invasora debido a su crecimiento y capacidad de propagación, se ha introducido como especie ornamental para parques, de manera local las

semillas pueden dispersarse accidentalmente en los desechos, con ayuda de aves y hormigas. Esta especie está presente en Durango, Monterrey, Coahuila, San Luis Potosí, Aguascalientes, Hidalgo, Querétaro, Morelos, Estado de México, Ciudad de México, Tlaxcala, Veracruz, Oaxaca y Chiapas. Dado que estos estados cuentan con las condiciones climáticas adecuadas para que pueda establecerse (CONABIO, 2020).

Se caracteriza por medir hasta 15 m de altura, con hojas ovaladas a elípticas de color verde y con un verde más pálido en el envés, con un tamaño de 6 a 10 cm de largo, ápice agudo, margen entero y base redondeada, inflorescencias ramificadas de hasta 22 cm de largo, flores pequeñas, blancas, verde amarillentas, con cuatro pétalos unidos a la base. El fruto es de tipo baya, elipsoidea, color negro- azulado (CONABIO, 2020).

Es utilizada con fines de jardinería y paisajismo, en la medicina china se utilizan algunas partes para tratar diversas dolencias, aunque su eficacia no está científicamente comprobada.



Ilustración 1 Ejemplar de *Ligustrum lucidum* W.T. Aiton en el COBAEH plantel Zapotlán

3.11.2 *Hesperocyparis lusitánica* (Mill.) Bartel

Es un árbol cuya altura oscila entre los 10 metros hasta los 30, o 40 mts, su diámetro es variado dependiendo de las condiciones en las que viva, con aproximaciones de 60 cm a 1 m; posee fuste recto y ramas extendidas; su corteza es de color gris, estrecha y resinosa. Esta especie es capaz de desarrollarse en altitudes de 1300 hasta 3000 mts (Anisko et al., 1994).

En la república mexicana es conocido comúnmente como Teotlate, tlazcan, cedro, cedro blanco, ciprés, ciprés nukulpat, en Chiapas se conoce como gretado amarillo, gretado galan, y en Oaxaca; sesa'na (lengua mazahua). Originalmente se encuentra distribuida en Guatemala, honduras, el Salvador, el suroeste de Texas y en México; en los estados de Colima, Chiapas, Ciudad de México, Edo. De México, Michoacán, Oaxaca, Puebla, Querétaro, San Luis Potosí, Tamaulipas, Tlaxcala, Veracruz y Zacatecas (Anisko et al., 1994).

Su copa es de forma cónica que provoca una sombra densa, y se conforma por hojas perennifolias en forma de escamas con ápice agudo y superpuestas; de aproximadamente 2 mm de largo y 1 mm de ancho, con una coloración verde azulado oscuro. Florece en febrero y abril, y fructifica en otoño e invierno (Anisko et al., 1994).

Su sexualidad es monoica, es decir que posee ambos sexos en una misma planta. Los conos masculinos son ovales con tamaños de casi 4 mm de largo y color amarillento, se caracterizan por su producción precoz desarrollándose en los primeros años; mientras que los conos femeninos tienen de 8 a 16 mm de diámetro y su coloración es rojiza, se ubican en las axilas de las ramas, se presentan en árboles de casi 10 años cada cono contiene un aproximado de 70 semillas con formas angulares e irregulares, de 6 a 7 mm de largo y 4 a 6 mm de ancho, aplanadas, la recolección de la semillas se realiza en los meses de diciembre a marzo. El sistema radical tiende a ser profundo en los sitios secos (Anisko et al., 1994).

Crece en distintas condiciones ambientales como laderas húmedas de cerros, arroyos, barrancas. Habita en sitios donde la temperatura promedio anual es superior a los 12 °C y la precipitación anual entre 1,000 y 3,000 mm.

Es una especie tolerante a la luz, requiere suelos bien drenados, aunque también es tolerante a suelos someros, arenosos y pobres. No tolera la sombra, es susceptible a la contaminación ambiental porque absorbe bastas cantidades de plomo, no tolera la competencia con malezas, su principal daño puede ser por la bacteria *Agrobacterium tumefacens* que ataca el follaje, el coleóptero *Phloesinus bawmanni* ataca el tronco. Los pulgones del género *Cinara sp.* se alimentan de la savia de tronco y ramas. Las larvas de lepidóptero *Oiketicus dendrokomus* atacan el follaje y el hongo *Dothiorella sp.* que provoca la muerte de las ramas (Anisko et al., 1994).

Los usos más comunes del cedro blanco son como madera para aserrío siendo una madera de buena calidad aromática fácil de trabajar y con amplia durabilidad, leña, carbón, construcción rural y la pulpa se puede utilizar para papel.



Ilustración 2 Ejemplar de *Hesperocyparis lusitánica* (Mill.) Bartel
en el COBAEH plantel Zapotlán

3.11.3 *Acacia melanoxylon* R.Br.

También conocida como acacia de madera negra, es una especie considerada como invasora, su distribución original es en Australia en las mesetas del sureste de Queensland, en México fue introducida en 1956 debido a que existen las condiciones climáticas favorables para su desarrollo (CONABIO, 2015).

Es un árbol perene que puede medir hasta 40 m de altura, su corteza es pardo oscura y agrietada, hojas elípticas o lanceoladas de 4 a 13 cm de largo, inflorescencias globosas de color crema blanquecino de 1 cm de diámetro y nacen en racimos en las axilas de las hojas. Las semillas son negras con forma elipsoidal, de 5mm de longitud (CONABIO, 2015).

Tiene un aprovechamiento maderable para la fabricación de muebles, herramientas, botes y barriles de madera; ésta es considerada de la misma calidad que la madera de nogal. La madera no utilizable es usada como combustible. El arbusto fijador de nitrógeno y por ende restaurador de suelos y vegetación. Se cultiva como ornamental (CONABIO, 2015).



Ilustración 3 Ejemplar de *Acacia melanoxylon* R.Br. en el COBAEH plantel Zapotlán

3.11.4 *Pinus cembroides* Zucc.

Es un árbol perennifolio nativo de México, utilizado para reforestar zonas áridas, semiáridas y zonas erosionadas debido a su alta resistencia a las sequías y heladas y potencial adaptativo, es uno de los pinos con mayor distribución en México con masas puras en la Sierra Madre Oriental.

Los estados que cuenta con la presencia del pino son Aguascalientes, Baja California Sur, Chihuahua, Coahuila, Durango, Jalisco, Hidalgo, Nuevo León, Puebla, Querétaro, Sonora, San Luis Potosí, Tamaulipas, Veracruz, Zacatecas, CDMX y Estado de México. Los nombres más comunes son pino piñonero, piñón y pino (Benavides Meza y García Moya, 1991).

Se desarrolla en laderas de cerros y lomeríos, pendientes secas y rocosas, al pie de las montañas. En clima templado seco (Bsk) hasta templado subhúmedo (Cwb) con precipitaciones de 365 a 450 mm anuales y con 7 u 8 meses secos; en temperaturas que oscilan entre 7 °C hasta 40 °C con promedios de 18 °C; alcanzando mínimas extremas de -7 °C y máximas de 42 °C o a veces mayores (Martínez, 1979).

La altura del pino piñonero varia de 5 hasta 15 mts, con diámetros de 30 a 70 cm, cuenta con una copa redonda y abierta, con hojas de color verde oscuro un poco azulado con una longitud de 2.5 y 10 cm; las ramas son ascendentes y delgadas. El tronco es corto con corteza de color café rojiza o casi negra. Su floración es mayormente de marzo a abril y su fructificación son los conos su globosos con tamaño de 5 a 6 mm de ancho sin pedúnculo, de color verde, café, anaranjados o rojizos dependiendo de su maduración, los conos se abren de noviembre a diciembre, sus semillas son subcilíndricas ligeramente triangulares, sin ala y con tamaños de 10 mm de largo. Es una especie de lento crecimiento, las bajas temperaturas influyen en el crecimiento y producción de conos, tardan aproximadamente de 15 a 20 años en fructificar. Es un árbol con alta demanda de luz y resistente a suelos someros Es susceptible a insectos como *Ips. sp*, *Dendroctonus sp* (Eguiluz Piedra, 1978).

El uso más significativo es en la producción de piñón con alto valor nutricional, la resina utilizada para impermeabilizantes y pegamento, la construcción rural y madera. En Chihuahua y Durango se llegan a encontrar individuos de *Pinus cembroides* Zucc. que tienen por lo menos 300 años de edad. Es la principal especie proveedora de piñón en México (Goor y Barney, 1968).



Ilustración 4 Ejemplar de *Pinus cembroides* Zucc. en la forestación COBAEH plantel Zapotlán

***3.11.5 Pinus greggii* Engelm.ex Parl**

Es un árbol de rápido crecimiento con buena adaptación a suelos pobres, en el valle de México se ha utilizado en programas de reforestación en suelos degradados, es originario de la sierra madre oriental en los estados de Coahuila, Nuevo León, San Luis Potosí e Hidalgo en altitudes de 1850 hasta 3000 msnm. Es conocido comúnmente como Pino greggii, palo prieto, pino prieto y pino ocote. Es un árbol con alturas de 10 a 15 mts, con hojas

perennifolias, los conos maduran de noviembre a marzo, sus conos son serótinos y pueden permanecer hasta dos años cerrados, por lo que es posible encontrar conos en varias épocas del año. Se distribuye en la sierra Madre Oriental en los estados de Coahuila, Nuevo León, San Luis Potosí e Hidalgo (Aguilera, 2001).

Los suelos donde se desarrolla esta especie son de origen volcánico, ubicados en las mesetas altas y pendientes bajas de las montañas, sitios donde se encuentran los mejores ejemplares. También se pueden desarrollar en sitios secos o áridos, aunque bajo estas condiciones el crecimiento es lento y los árboles son de baja estatura y muy ramificados (Aguilera, 2001).

Su madera se destina a la industria de la celulosa y el aserrío, para la fabricación de muebles, durmientes, pilones, vigas, postes para cerca y leña para combustible. También se utiliza como especie ornamental. En algunas localidades se utiliza como árbol navideño (Aguilera, 2001).



Ilustración 5 Ejemplar de *Pinus greggii* Engelm.ex Parl en el COBAEH plantel Zapotlán

3.11.6 *Prunus serotina* Ehrh

Conocido comúnmente como capulín, capulín blanco o cerezo. Se distribuye en los estados de Chihuahua, Chiapas, Coahuila, Durango, Guanajuato, CDMX, Tamaulipas, Veracruz, Michoacán, Jalisco, Morelos, Querétaro, Oaxaca, San Luis Potosí, Hidalgo, Puebla a una altitud hasta 2500 m.

Es un árbol monódico, con alturas de 5 hasta 15 metros; con un DAP de hasta 1.2 m., su copa es ancha y ovoide, con hojas estipuladas cortamente pecioladas, su corteza es café o grisácea casi lisa. Sus frutos son de color negro rojizo de 12 a 20 mm de diámetro. Su floración es mayormente de enero a marzo, con fructificación en mayo y agosto; se desarrolla en pendientes acentuadas y puede encontrarse en zonas de cultivo como cafetales, habita en suelos pedregosos, someros, profundos con abundante materia orgánica, ácidos y húmedos. Es una especie demandante de luz, tolerante al viento y resistente al fuego, puede desarrollarse en ambientes contaminados; es intolerante a la sombra, susceptible a daños por hongos en su fruto u hoja y a daños por insectos como orugas, gusanos y polillas (Corona Nava et al., 1994).

Entre los usos más comunes se encuentra la leña y el carbón, el fruto es comestible y puede comerse crudo, en conserva (jalea o mermelada), en la elaboración de bebidas embriagantes con el fruto fermentado, otros usos son en la construcción o decoración de interiores, y de forma medicinal es utilizado como expectorante, estimulante y antiespasmódico.



Ilustración 6 Ejemplar de *Prunus serotina* en el COBAEH plantel Zapotlán

3.11.7 *Schinus molle* L.

Árbol de rápido crecimiento cuando es joven, con alturas de hasta 15 mts, diámetros de 25 a 35 cm, puede vivir hasta 100 años, es una especie de fácil adaptación y alta supervivencia, captura agua y luz de manera eficiente, presenta alelopatía, inhibe el crecimiento y/o desarrollo de las plantas vecinas, proviene de la región andina de Sudamérica, principalmente de Perú y se extiende por Ecuador, Chile y Bolivia; en México es una especie introducida y naturalizada en el valle de México, actualmente es posible encontrarla en estado silvestre (Chacalo Hilu et al., 1994).

Está distribuida en Ciudad de México, Estado de México, Chiapas, Coahuila, Durango, Hidalgo, Michoacán, Morelos, Oaxaca, Puebla, San Luis Potosí, Tlaxcala, Veracruz y Zacatecas. Se conoce comúnmente Arbol del Perú, Pirwi, Tsactumi, Tzactumi, Tzantuni; Pirú; Xasa, Xaza (l. Otomí); Peloncuáhuatl (l. Náhuatl); Yaga-cica, Yaga-lache (l. zapoteca, Oax.).

Es un árbol perennifolio de copa redonda y abierta, con hojas compuestas de 15 a 30 cm de largo, colgantes imparipinnadas con 15 a 41 foliolos, de color verde amarillento, tiene ramas flexibles y colgantes. Su corteza es rugosa, dura y color marrón oscuro; posee un sistema radical extendido y superficial. Florece en primavera y verano, las flores son muy pequeñas y numerosas, de color amarillento, miden 6 mm transversalmente, sus frutos tienen de 5 a 9 mm de diámetro, color rosado o rojizos, seco en la madurez y cada uno contiene de una a dos semillas. Es tolerante a la luz y resistente a la sequía, se adapta a suelos pobres, ácidos, compactados o alcalinos y es resistente a la contaminación ambiental; no tolera las heladas prolongadas ni el daño por insectos *Homóptera* (Anaya & Gómez, 1971).

La resina que produce es utilizada como goma de mascar, el cocimiento de las hojas, rama y corteza se emplea para teñir de amarillo los tejidos de lana; de las hojas se puede extraer un aceite aromatizante que se usa en enjuagues bucales.

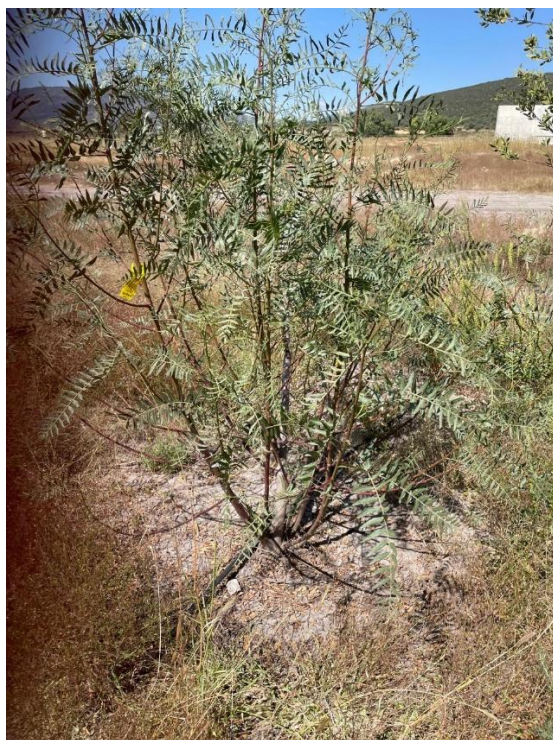


Ilustración 7 Ejemplar de *Schinus molle* L. en el COBAEH plantel Zapotlán

3.11.8 *Schinus terebinthifolius* var. *acutifolius* Engl.

Conocido comúnmente como pimentero brasileño, aroeira, o pimienta rosa; es nativo de Argentina, Brasil y Paraguay. Es importante destacar que está catalogada como una especie invasora en muchas regiones debido a su capacidad de crecimiento y desplazar a las especies nativas. Por lo que su cultivo debe realizarse con precaución y control para evitar su propagación no deseada (Austin, 1978).

Es un árbol perenne, puede alcanzar una altura de 7 a 10 metros con raíces poco profundas, tiene hojas compuestas que tienen de 7 a 11 folíolos verdes, más pálidos por debajo, las hojas miden de 10 a 22 cm de largo. Es una especie dioica, lo que significa que tiene flores femeninas y masculinas en plantas separadas. Tiene flores blancas que nacen en racimos axilares. El fruto es una drupa de 4 a 5 mm de diámetro (Bennett et al., 1988).

El pimentero brasileño se cultiva y utiliza como planta ornamental en regiones libres de heladas, en su hábitat natural es una planta melífera, siendo una fuente importante de alimento para la abeja sin aguijón (*Tetragonisca angustula*), un productor de miel significativo para centro y Sudamérica (Cassani, 1986).



Ilustración 8 Ejemplar de *Schinus terebinthifolius* en el COBAEH plantel Zapotlán

3.12 Estudios relacionados al tema

Supervivencia y crecimiento de una reforestación de seis especies del matorral espinoso tamaulipeco en el noreste de México. Una de las actividades crecientes de restauración ecológica en el matorral espinoso tamaulipeco es la reforestación. Los objetivos fueron estimar la supervivencia y determinar el crecimiento de las variables estructurales de altura total (h), diámetro basal (d0.10) y diámetro de copa (k) en una reforestación de un año de establecida con labores de mantenimiento utilizando seis especies nativas (*Cordia boissieri*, *Ebenopsis ebano*, *Havardia pallens*, *Helietta parvifolia*, *Prosopis glandulosa* y *Senegalia berlandieri*) del matorral espinoso tamaulipeco del noreste de México. Para determinar si los valores presentaban diferencias estadísticas para los datos paramétricos se utilizó un ANOVA de un factor y para los datos no paramétricos la prueba de H de Kruskal-Wallis. Las pruebas post hoc fue la prueba de Tukey para el ANOVA y la de Games Howell para la prueba de H de Kruskal Wallis. Las especies no presentaron crecimiento en altura ($p > 0.05$), pero sí en el diámetro basal y cobertura de copa ($p < 0.05$). Las especies que presentaron mayores incrementos en diámetro basal y diámetro de copa fueron *Havardia pallens* y *Cordia boissieri*. Todas las especies presentaron una supervivencia mayor al 93% a un año de ser plantadas (Balderas, Alanís Rodríguez, & Sarmiento, 2024).

Factores ambientales y físicos que afectan la supervivencia de siete especies forestales en el Estado de México. Esta investigación tuvo como objetivo evaluar el efecto de diferentes variables ambientales y físicas sobre la supervivencia de las siete especies más usadas para la reforestación en el Estado de México, durante el periodo 1997-2003. La evaluación se realizó a través de un muestreo de dos etapas de 757 plantaciones. En la primera, se seleccionaron aleatoriamente las plantaciones bajo un diseño completamente al azar. La segunda fase consistió en levantar sitios de muestreo de 100 m² elegidos de manera sistemática en cada una de las plantaciones seleccionadas, con una intensidad de muestreo de 5 % del área plantada. En los sitios se evaluó la supervivencia y un conjunto de variables de sitio. El análisis se realizó mediante un modelo Probit, en el cual se probaron todas las

combinaciones de diferentes subconjuntos de variables de sitio y climáticas como variables de control. Los resultados mostraron que las plantaciones tienen una baja supervivencia (38 %), atribuible a la poca protección de las plantaciones, la rápida conversión a terreno agropecuario, así como a la desvinculación entre los requerimientos de cada especie y las características de los sitios de plantación. Se analiza y discute el efecto de las variables evaluadas por especie y se proporcionan recomendaciones de registro de información para las plantaciones. (Rojo, 2021)

Sobrevivencia y crecimiento inicial de especies vegetales en el Jardín Botánico de la quinta El Padmi, Zamora, Chinchipe. La silvicultura de especies forestales en la amazonia sur del Ecuador es desconocida, muchas especies se explotan irracionalmente y no se repone el recurso, debido a aspectos como: desconocimiento de su comportamiento silvicultural, escasa tradición forestal y descuido institucional que fomente la formación de riqueza forestal. En el aspecto silvicultural, conocer la supervivencia, el crecimiento diamétrico y en altura de los árboles es muy importante, ya que brinda elementos para seleccionar y decidir el uso de especies forestales en actividades de forestación, agroforestería, restauración ecológica y en jardinería. Para conocer estos aspectos en la quinta El Pami de la Universidad Nacional de Loja en Zamora Chinchipe, se encuentra en experimento el crecimiento y adaptación de especies forestales de alto valor económico. Este artículo presenta la supervivencia y las tasas de crecimiento anual en diámetro y altura de 15 especies arbóreas plantadas en la primera fase de implementación del jardín botánico de la quinta El Padmi. El crecimiento diamétrico y en altura anual de las especies corresponde a un periodo de 4 años con un total de 163 individuos. El porcentaje de supervivencia promedio de las especies es de 60,36 %. Los resultados demuestran que existen de acuerdo a su crecimiento las especies se agrupan en tres bloques, cuatro con crecimiento inicial rápido, éstas son: *Trichilia sp.* con 3,89 cm/año de diámetro y 2,19 m de altura; *Lafoensia acuminata* con 2,54 cm de diámetro y 1,59 de altura, *Nectandra sp.* con 2,11 m/año de diámetro y 1,45 m/año de altura y *Clarisia racemosa* con 2,52 cm/año de diámetro y 1,11 m/año de altura. Un segundo grupo de dos especies con crecimiento regular, éstas son: *Swietenia macrophylla* y *Vitex cymosa* y un tercer grupo de nueve especies con crecimiento incipiente, que son: *Cedrellinga*

cataeniformis con 0,34 cm/año en diámetro y 1,27 m de altura, *Nectandra membranacea* con 0,44 cm/año y 1,98 m/año de altura y *Platymiscium pinnatum* con 0,47 cm/año y 1,20 m/año (Mendoza & León Abad , 2011).

4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 Ubicación del área de estudio

La forestación se localiza en el centro de formación Colegio de Bachilleres Plantel Zapotlán, en la localidad de San Pedro Huaquilpan, municipio Zapotlán de Juárez en el estado de Hidalgo. Este sitio se localiza en las coordenadas geográficas 19°59'30.5" latitud norte y 8°52'06.0" longitud oeste (Ilustración 9). Con una altitud sobre el nivel del mar de 2,360 metros. El clima es semiseco templado (BS1kw), con temperatura media anual de 12° a 18 °C, la temperatura del mes más frío oscila entre -3° y 18 °C y la temperatura del mes más cálido es mayor a 18 °C. (SMA, 2016). Con una precipitación media anual que oscila entre los 400 a 700 mm, concentrándose lluvias entre los meses de abril y octubre, mientras que el resto del año presenta un marcado estiaje. El municipio de Zapotlán de Juárez forma parte de la Región Hidrológica del Río Pánuco y se encuentra dentro de la cuenca del Río de Las Avenidas, la cual drena hacia el Valle de Tula. Su red hidrográfica está compuesta principalmente por arroyos de carácter temporal, que se originan en las partes altas de la Sierra de Tezontlalpan y desembocan en pequeños bordos, jagüeyes y presas locales, entre las que destacan El Durazno, Los Ondones, Mambrú y Gachipina. De acuerdo con la capa de edafología (INIFAP & CONABIO , 2008) el suelo presente es cambisol éutrico. En conformidad con la capa de uso de suelo y vegetación, el uso de suelo es agricultura de temporal anual. La agricultura de temporal anual se caracteriza por depender únicamente de las lluvias para su producción, sin riego, lo que la hace muy vulnerable a la variabilidad climática (Covarrubias, 2007).

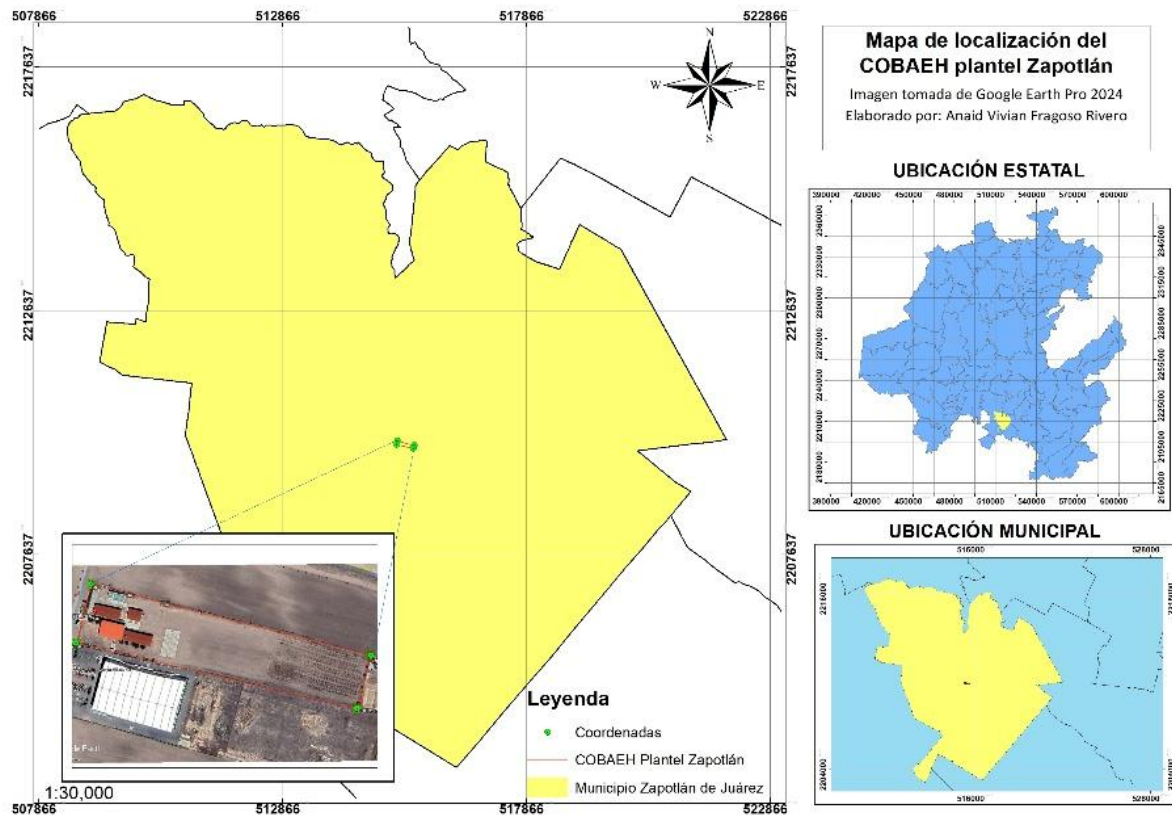


Ilustración 9 Mapa de ubicación geográfica del COBAEH plantel Zapotlán.

3.7 Descripción de las características de plantas

De acuerdo al Programa de Reforestación como medida de compensación ambiental por la construcción del Centro de Distribución Farmacias Guadalajara Zona Centro (2022), del cual forma parte la forestación del COBAEH plantel Zapotlán, se establecieron los siguientes criterios para la selección de plantas:

La selección de especies se basa en aquellas que cuentan con antecedentes de crecimiento y desarrollo exitoso en condiciones ambientales y edáficas similares a las características presentes en cada sitio.

La talla de las plantas corresponde a ejemplares cuya altura es igual o superior a 1.5 metros, con diámetros acordes a la especie, tomando en cuenta el índice de esbeltez o robustez, que se define como la relación entre la altura (cm) y el diámetro a la altura del cuello (mm).

Es importante que las plantas provengan de condiciones ambientales similares a las del sitio donde serán establecidas, especialmente en lo relacionado con los factores climáticos como exposición solar, viento, temperatura, precipitación y presión atmosférica (Roller, 1977). Los tamaños mínimos recomendados deberán variar según la especie.

No se aconseja utilizar plantas bifurcadas o con tallos torcidos, ya que esto podría impedir que alcancen la forma adecuada en su etapa adulta y, además, representar riesgos para la infraestructura cercana, dificultando su mantenimiento futuro.

La raíz de las plantas debe estar bien desarrollada y distribuida en todo el cepellón, ya que esto garantiza su correcta absorción y sostén. Es importante que el tamaño del cepellón guarde una relación adecuada con la parte aérea de la planta para evitar desequilibrios.

Durante el traslado, es fundamental proteger el cepellón y evitar golpes o movimientos bruscos que lo puedan romper. Si las raíces quedan expuestas al aire, se corre el riesgo de que se deshidraten y pierdan su capacidad de absorber agua, lo que afectaría el crecimiento de la planta.

En cuanto a la salud de las plantas, los ejemplares seleccionados en el vivero deben estar vigorosos, con hojas verdes y buen aspecto, además de estar libres de heridas, plagas o enfermedades. Plantar un ejemplar en mal estado puede reducir las probabilidades de supervivencia y afectar el éxito de la reforestación.

El vigor y la apariencia de las plantas son factores clave al momento de seleccionarlas. Se debe optar por ejemplares que tengan un follaje uniforme y saludable, con colores intensos de verde. Es importante evitar plantas con hojas secas o parcialmente dañadas, o aquellas que no presenten un crecimiento definido en su parte apical.

Respecto a la edad de las plantas, en el vivero es preferible elegir ejemplares jóvenes, ya que tienen mayores posibilidades de adaptarse y desarrollarse en el sitio de plantación. Esto se debe a que suelen tener un sistema radicular abundante y en buen estado, lo que favorece su establecimiento.

Para el proyecto de forestación, se utilizaron plantas producidas en vivero de las siguientes especies: *Hesperocyparis lusitánica* (Mill.) Bartel con alturas aproximadamente de 1.5 m, *Pinus cembroides* Zucc. con alturas entre 1.6 m a 1.7 m, *Pinus greggii* Engelm.ex Parl con

altura de 1.6 m, *Prunus serotonina* Ehrh con altura de 1.7, *Schinus molle* L. con altura de 1.8 m a 2 m, *Schinus terebinthifolius* var. *acutifolius* Engl. con alturas de 2 m y *Ligustrum lucidum* W.T. Aiton con alturas de 1.5m a 2 m.

De manera general las plantas tenían un cepellón 40x 40 que permitió la transportación y el trasplante hasta el área de estudio.

4.3 Diseño de plantación

El diseño de plantación es marco real a distancia de 3 x 3 metros, apta para el terreno plano donde se realizó la forestación, para determinar el número de plantas por hectárea se utilizó la siguiente formula:

$$\frac{ha}{d} = \frac{10,000 m^2}{d^2} = \frac{10,000 m^2}{3^2} = \frac{10,000 m^2}{9} = 1,111 p / ha$$

Donde se determinó que la cantidad de plantas apropiada por hectárea es de 1,111 a una distancia de 3 x 3 m (Ilustración 10).

En cuanto a la preparación del terreno, se utilizó el sistema de cepa común el cual consistió en excavar un hoyo de 80 cm de largo por 60 de ancho, con ayuda de maquinaria pesada (retroexcavadora).



Ilustración 10 Forestación a marco real de 3x3 metros en la forestación COBAEH plantel Zapotlán como medida de compensación ambiental por la construcción del Centro de Distribución Farmacias Guadalajara Zona Centro (2022)

4.4 Sistema de riego

Debido al clima presentado en el área de estudio y con la finalidad de asegurar una fuente de abastecimiento de agua para los árboles, se estableció el sistema de riego por goteo; el cual permite conducir el agua mediante una red de mangueras y aplicarla a través de emisores que entregan pequeños volúmenes de agua de forma periódica.

Como fuente de abastecimiento principal se utilizaron 3 tinacos con capacidad de 5,000 L, se colocó un cabezal que provee presión y caudal al sistema y mediante las mangueras se permitió el flujo del agua desde el tinaco hasta cada árbol; los emisores se colocaron cada tres metros con relación al sistema de plantación (Ilustración 11).



Ilustración 11 Sistema de riego. Establecido en la forestación COBAEH plantel Zapotlán, como medida de compensación ambiental por la construcción del Centro de Distribución Farmacias Guadalajara Zona Centro (2022)

4.5 Características dasométricas evaluadas

Diámetro normal: El diámetro se obtuvo mediante la medición del tronco a la altura del pecho (1.3 m) con ayuda de un vernier.

Altura: La altura fue medida con un flexómetro marca trupper ® con precisión a milímetros, para la medición, se colocó el flexómetro de manera vertical al tronco, y se extendió hasta la rama más alta de cada árbol (Ilustración 12).



Ilustración 12 Medición de altura de árboles con flexómetro Establecido en la forestación COBAEH plantel Zapotlán, como medida de compensación ambiental por la construcción del Centro de Distribución Farmacias Guadalajara Zona Centro (2022)

Cantidad de follaje: Para esta variable, se observó la presencia de las hojas en los árboles muestreados.

La cantidad de follaje se clasifico en base a las siguientes consideraciones:

- Abundante (A): presencia de hojas mayor a 50% de la copa (Ilustración 13).
- Medio (M): Con presencia de hojas de 26 a 49 % de la copa (Ilustración 13).
- Pobre (P): Con presencia de hojas hasta de 1 a 25 % de la copa.
- Sin follaje (SF): sin presencia de hojas.



a)



b)

Ilustración 13 Se muestra dos ejemplares de la especie *Hesperocyparis lusitánica* (Mill.) Bartel, donde la imagen a) muestra un ejemplar con follaje abundante, mientras que la imagen b) muestra un ejemplar con follaje medio.

Numero de brotes: Esta variable se obtuvo mediante el conteo de los brotes nuevos que tenía cada árbol.



Ilustración 14 Muestra un árbol de la especie *Schinus molle* L. con rebrotes



Ilustración 15 Muestra un árbol de la especie *Prunus serotina* Ehrh con rebrotes

Estado fitosanitario: Se realizó una observación detallada para identificar el estado fitosanitario de cada árbol (Ilustración 16), la clasificación está en función de las siguientes variables:

- Sano (S): El árbol cuenta con follaje en un color apropiado de acuerdo a cada especie, el tronco y la corteza sin deformaciones, heridas o grietas, no hay presencia de plagas y enfermedades como insectos u hongos.
- Enfermo (E): Presenta síntomas como ramas secas, hojas marchitas o secas fuera de la temporada correspondiente, hongos o deformaciones en la corteza.
- Plagado (P): Se distingue por la presencia de insectos o daños relacionados a los insectos, como galerías, aserrín, presencia de resina etc.



Ilustración 16 Muestra la forestación realizada en el COBAEH plantel Zapotlán como medida de compensación ambiental por la construcción del Centro de Distribución Farmacias Guadalajara Zona Centro (2022) y nos permite observar el estado fitosanitario en general del arbolado.

Supervivencia: Determina en qué condiciones se encuentra el árbol respecto a los siguientes criterios:

- Vivo (V): Muestra un crecimiento continuo en altura y diámetro, formación de nuevas ramas y raíces, follaje en colores adecuados y capacidad de recuperación a sequías o daños (Ilustración 17).
- En decadencia (D): Coloración anormal de las hojas, pérdida prematura de hojas, ramas secas y quebradizas en un porcentaje mayor al 50% de la copa (Ilustración 18).

- Muerto (M): Ausencia de hojas, ramas secas o quebradizas, no hay signos de crecimiento, el tronco muestra signos de descomposición (Ilustración 19).



Ilustración 17 Ejemplar de la especie que permite observar la característica de un árbol sano en la forestación COBAEH Zapotlán como medida de compensación ambiental por la construcción del Centro de Distribución Farmacias Guadalajara Zona Centro (2022).



Ilustración 18 Ejemplar de la especie que permite observar la característica de un árbol en decadencia en la forestación COBAEH Zapotlán como medida de compensación ambiental por la construcción del Centro de Distribución Farmacias Guadalajara Zona Centro (2022)



Ilustración 19 Ejemplar de la especie que permite observar la característica de un árbol muerto en la forestación COBAEH Zapotlán como medida de compensación ambiental por la construcción del Centro de Distribución Farmacias Guadalajara Zona Centro (2022)

4.6 Recopilación de datos

El muestreo llevo a cabo el 1° de noviembre de 2023 y todas las características dasométricas evaluadas se concentraron en el siguiente formato:

[illegible]

Cantidad de follaje ((A)abundante, (M) medio, (P) pobre, (SF) sin follaje)

Estado fitosanitario ((S) Sano, (E) enfermo o (P) plagado)

Condición actual ((V) Vivo, (D) en decadencia, (M) muerto)

Ilustración 20 Formato de campo para la obtención de datos en la forestación COBAEH plantel Zapotlán

Una vez que se recopilaron los datos de todos los árboles, se procedió a ingresar los datos a Excel para su análisis. Los árboles se clasificaron por especie y se contabilizaron cuantos arboles por especie se plantaron, posteriormente se obtuvieron los promedios generales por especie de alturas, diámetros, numero de brotes, en el caso del estado fitosanitario y supervivencia se utilizó la fórmula de excel = CONTAR.SI (rango, criterio) para obtener la cantidad de árboles por categoría, posteriormente para obtener el porcentaje de supervivencia, se utilizó la formula = (número de árboles*100) /526.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 Porcentaje de especies reforestadas

En total se plantaron 526 individuos, distribuidos en varias especies. Las especies con mayor número de ejemplares son *Ligustrum lucidum* W.T. Aiton (101 plantas) y *Pinus cembroides* Zucc (100 plantas). También se emplearon especies como *Hesperocyparis lusitánica* (Mill.) Bartel (50 plantas), *Pinus greggii* Engelm.ex Parl (58 plantas), *Schinus molle* L. (78 plantas), *Schinus terebinthifolius* var. *acutifolius* Engl. (74 plantas). Las especies con menor número de ejemplares son *Prunus serotina* Ehrh (20 plantas) y *Acacia melanoxylon* R.Br. (45 plantas), (Tabla 1).

La especie *Ligustrum lucidum* W.T. Aiton tuvo un mayor número de ejemplares debido a su rápido crecimiento y capacidad de propagación y *Pinus cembroides* Zucc debido a su alta resistencia a las sequías, heladas y potencial adaptativo. Sin embargo, *Prunus serotina* Ehrh se plantó en menor cantidad debido a que es una especie complementaria para el enriquecimiento forestal y no es considerada como especie principal y *Acacia melanoxylon* R.Br. se plantó en menor cantidad debido al clima subtropical al que pertenece (Espinoza, 1997).

Tabla 1 Porcentaje de especies plantadas COBAEH plantel Zapotlán como medida de compensación ambiental por la construcción del Centro de Distribución Farmacias Guadalajara Zona Centro (2022)

Especie	Nombre común	Numero de plántulas	Porcentaje de especies forestadas
<i>Ligustrum lucidum</i>	trueno	101	19.2
<i>Hesperocyparis lusitánica</i>	cedro blanco	50	9.5
<i>Acacia melanoxylon</i>	acacia negra	45	8.6
<i>Pinus cembroides</i>	pino piñonero	100	19.0
<i>Pinus greggii</i>	pino ocote	58	11.0
<i>Prunus serotina</i>	capulín	20	3.8
<i>Schinus molle</i>	pirul	78	14.8
<i>Schinus terebinthifolius</i>	pirul brasileño	74	14.1
Total de árboles plantados		526	100

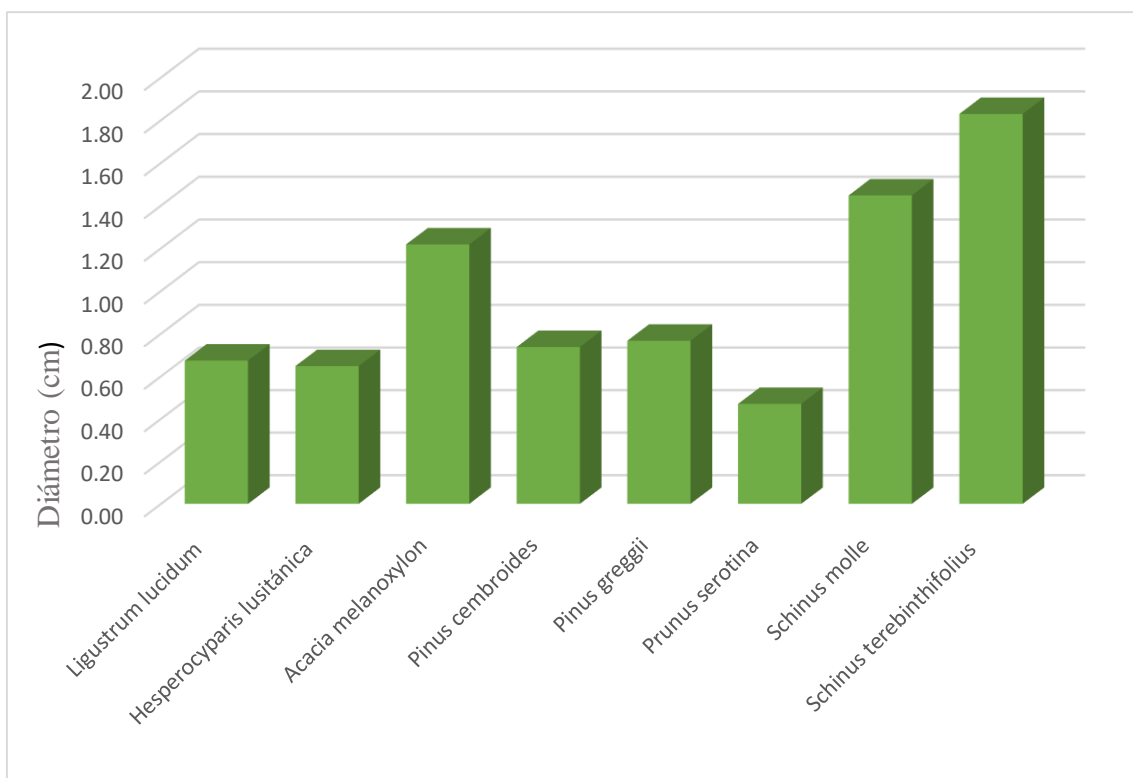
De acuerdo con el estudio el árbol *Pinus cembroides* Zucc. como alternativa para reforestar ciudades, parques y jardines (Castrejon & González, 2021), el árbol piñonero es una buena alternativa para reforestaciones en espacios soleados ya que en sus primeros años requiere poca agua, aunque es un árbol de crecimiento lento tiene características fisiológicas que le hace requerir poco mantenimiento.

5.1 Diámetro normal

El diámetro no se consideró como una propiedad a evaluar debido a que las plantas no eran homogéneas y presentaban variaciones respecto a esta característica, sin embargo, se presenta para tener un panorama sobre las especies forestadas.

El promedio general de todas las especies respecto a al diámetro normal en centímetros, es de 0.97, con un promedio máximo de 3.5 en la especie *Schinus terebinthifolius* var. *acutifolius* Engl. y un promedio mínimo de 0.2 en la especie *Hesperocyparis lusitánica* (Mill.) Bartel.

Schinus terebinthifolius var. *acutifolius* Engl., es la especie con mayores diámetros con un promedio de 1.83 cm, seguida de *Schinus molle* L. con 1.45 cm y *Acacia melanoxylon* con 1.22. La especie con menor promedio de altura es *Prunus serotina* Ehrh con 0.47.



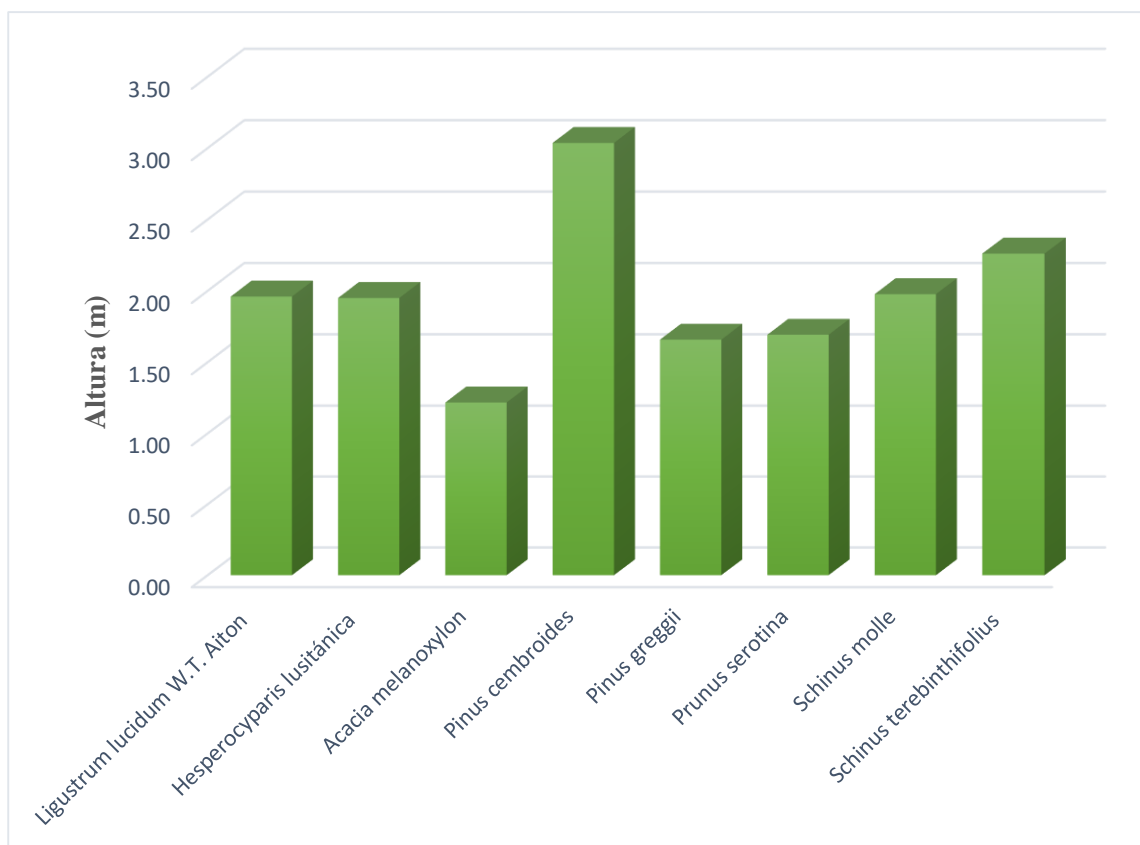
Gráfica 1. Valores promedio por especie del diámetro normal en la forestación COBAEH plantel Zapotlán como medida de compensación ambiental por la construcción del Centro de Distribución Farmacias Guadalajara Zona Centro (2022)

En conformidad con Arias (2004), la relación de altura diámetro pueden interpretarse como un mecanismo de adaptación donde las especies con mayor diámetro en relación a su altura, presentan mejor estabilidad mecánica y, por lo tanto, mayor estabilidad de supervivencia.

3.7.1 Altura

La altura tampoco fue una variable considerada debido a que las plantas no son homogéneas, sin embargo, permiten conocer las características generales de las plantas utilizadas en la forestación.

El promedio general de altura en metros, por especies es de 1.97, la altura máxima de 3.13 en la especie *Schinus molle* L. y mínima de *Pinus cembroides* Zucc 0.48. La especie con mayor crecimiento es *Pinus cembroides* con un promedio de 3.04 m. *Acacia melanoxylon* R.Br. es la especie con menor crecimiento con 1.22 m



Gráfica 2 Promedio por especie de la altura en metros en la forestación COBAEH plantel Zapotlán como medida de compensación ambiental por la construcción del Centro de Distribución Farmacias Guadalajara Zona Centro (2022)

En el presente estudio la altura no fue considerada como una variable principal de análisis, debido a que las plantas presentaron una condición heterogénea que dificultó su uso como parámetro confiable. Sin embargo, es importante reconocer que Ordaz- Ruiz et al., (2020) utiliza esta variable como un factor clave para evaluar el desempeño y la adaptación de las especies. Dicho estudio utiliza la altura dentro de modelos alométricos junto con el diámetro y el volumen para predecir el crecimiento y el potencial productivo de las plantaciones, demostrando que el crecimiento vertical puede reflejar la capacidad de la especie para ajustarse a las condiciones ambientales. Por lo tanto, aunque en este trabajo la altura solo se empleó de forma descriptiva, los antecedentes científicos muestran que su análisis puede aportar información valiosa para futuras evaluaciones y para fortalecer la selección de especies en proyectos de forestación.

3.7.2 Numero de brotes

El promedio general de brotes por especie es de 2.01. Las especies con mayor promedio de brotes son *Schinus terebinthifolius* var. *acutifolius* Engl., *Schinus molle* L. y *Lingustrum lucidum* W.T. Aiton con un promedio de 19 brotes. La especie con menor número de brotes es *Acacia melanoxylon* R.Br. con un promedio de 0 brotes.

Es probable que *Schinus terebinthifolius* var. *acutifolius* Engl., *Schinus molle* L. y *Lingustrum lucidum* W.T. Aiton al ser especies de rápido crecimiento, tengan una estrategia natural que les permite colonizar nuevos espacios, por lo que el rebrote es una ventaja evolutiva, además presentan raíces profundas y extensas que permiten mejorar la absorción de agua y nutrientes.

Tabla 2 Promedios por especie del número de brotes en la forestación realizada como medida de compensación ambiental por la construcción del Centro de Distribución Farmacias Guadalajara Zona Centro (2022)

Especie	Promedio no. de brotes
<i>Ligustrum lucidum</i>	3.66
<i>Hesperocyparis lusitánica</i>	0.21
<i>Acacia melanoxylon</i>	0.00
<i>Pinus cembroides</i>	0.17
<i>Pinus greggii</i>	0.67
<i>Prunus serotina</i>	2.11
<i>Schinus molle</i>	4.12
<i>Schinus terebinthifolius</i>	5.16
<i>Promedio general</i>	2.01

De acuerdo con un experimento que evalúa la capacidad de rebrote por incendio y concentraciones foliares de nutrientes en brinzales de *Junniperus deppeana steud* (Torres, 2020), la fertilización influye en el rebrote de brinzales de *Junniperus deppeana* después de un incendio, el 84% de los arboles rebrotaron y la fertilización mostro un efecto positivo en

la calidad del rebrote. Se observó un incremento significativo en el diámetro a la base del suelo en rebrotes de uno y dos años entre arboles fertilizados y no fertilizados, Sin embargo, no se registraron diferencias en el crecimiento de altura de los rebrotes, lo cual sugiere que la fertilización mejora el vigor del rebrote más que su crecimiento vertical.

3.7.3 Cantidad de follaje

La especie *Pinus cembroides* Zucc. tiene el mejor rendimiento respecto a la cantidad de follaje (Tabla 5), esto puede estar relacionado directamente con su estrategia conservadora de nutrientes, lo que le permite mantener su follaje sin suelos muy fértiles, además al ser una especie perennifolia, mantiene hojas todo el año para seguir produciendo energía por lo cual puede reflejar mayor masa foliar respecto a especies caducifolias como la especie *Prunus serotina* Ehrh pierde sus hojas en ciertas épocas del año, destina más energía a la floración y producción de frutos, además en lugares con climas secos puede restringir su producción de hojas para evitar la pérdida de agua .

Tabla 3 Promedios de la cantidad de follaje por especie, clasificados en Abundante (A), Medio (M), Pobre (P) y Sin follaje (SF), en la forestación realizada como medida de compensación ambiental por la construcción del Centro de Distribución Farmacias Guadalajara Zona Centro (2022)

Cantidad de follaje				
Especie	A	M	P	SF
<i>Ligustrum lucidum</i>	11.00	30.00	26.00	23.00
<i>Hesperocyparis lusitánica</i>	6.00	21.00	20.00	0.00
<i>Acacia melanoxylon</i>	3.00	7.00	18.00	0.00
<i>Pinus cembroides</i>	33.00	42.00	24.00	0.00
<i>Pinus greggii</i>	4.00	8.00	5.00	0.00
<i>Prunus serotina</i>	0.00	0.00	9.00	9.00
<i>Schinus molle</i>	0.00	15.00	27.00	17.00
<i>Schinus terebinthifolia</i>	0.00	18.00	30.00	7.00
<i>Promedio general</i>	7.13	17.63	19.88	7.00

Un estudio realizado para medir el índice de área foliar y su dinámica estacional en plantaciones de *Eucalyptos urophylla* estableció un mayor crecimiento en condiciones

favorables, este estudio se realizó con la comparación de dos métodos directos e indirectos, donde las mediciones se realizaron en Julio y Agosto para poder compararlos (Ramos, 2021).

Ambos trabajos coinciden en que el rebrote es una característica clave para la supervivencia y establecimiento de especies arbóreas, especialmente en ambientes intervenidos o con limitaciones. En la forestación del COBAEH plantel Zapotlán, las especies con más brotes lo lograron por su estrategia biológica natural, mientras que en el estudio (Ramos, 2021) este comportamiento se reforzó mediante la fertilización. Esto sugiere que una combinación de buena selección de especies más buenas prácticas de manejo como la fertilización puede incrementar el éxito de las reforestaciones.

3.7.4 Estado fitosanitario

Conforme a la Tabla 6 que especifica los promedios por especie de árboles, sanos, enfermos y plagados, se puede observar que todos los árboles se encuentran sanos, sin embargo, es importante mencionar que, en las observaciones realizadas en los muestreos, se destaca la falta de agua en todas las especies, lo cual podría ser un factor determinante para la salud a futuro de todos los árboles.

Tabla 4 Promedios por especie del estado fitosanitario, donde Sano es (S), Enfermo (E) y Plagdo (P), en la forestación COBAHE plantel Zapotlán realizada como medida de compensación ambiental por la construcción del Centro de Distribución Farmacias Guadalajara Zona Centro (2022)

Estado fitosanitario	
Especie	S
<i>Ligustrum lucidum</i>	91.00
<i>Hesperocyparis lusitánica</i>	48.00
<i>Acacia melanoxylon</i>	27.00
<i>Pinus cembroides</i>	99.00
<i>Pinus greggii</i>	18.00
<i>Prunus serotina</i>	18.00
<i>Schinus molle</i>	59.00
<i>Schinus terebinthifolius</i>	56.00
Promedio general	52.00

Un estudio realizado en el municipio de Fortul Arauca, Colombia, identifico especies del lugar y realizo el inventario florístico correspondiente para evaluar las afectaciones fitosanitarias encontrando que la incidencia de plagas y enfermedades es baja porque se encontraron de manera aislada defoliación realizada por hormiga arriera del género *Atta* (Méndez, 2022).

Al comparar los resultados del estado fitosanitario obtenidos en la forestación del COBAEH Zapotlán y el estudio realizado en Fortul Arauca (Méndez, 2022) se observa una coincidencia importante, en ambos casos la baja presencia de plagas y enfermedades indica que los arboles pueden mantenerse sanos aun en zonas urbanas, esto sugiere que cuando las especies se eligen de forma correcta, es posible encontrar condiciones favorables para su desarrollo, incluso con ciertas limitaciones como la falta de agua, por lo tanto la planificación adecuada y la elección de especies resultan factores claves para el mantenimiento de áreas verdes en zonas urbanas.

Sin embargo, la PAOT (2011) identifico en el arbolado del parque Alameda Oriente plagas causadas principalmente a la competencia entre el arbolado por nutrientes, agua y energía solar, aunque en el caso de la forestación del COBAEH plantel Zapotlán existe un diseño de plantación apropiado para evitar la competencia por nutrientes y energía solar, es importante mencionar la falta de agua como un factor determinante que puede ocasionar plagas a futuro.

5.2. Supervivencia

Las especies con mayor porcentaje de supervivencia es *Pinus cembroides* Zucc. (17.87 %), seguida por *Ligustrum lucidum* W.T. Aiton (15.02 %), aunque estas especies tienen un número mayor de plantas reforestadas de acuerdo a la Tabla 1, su porcentaje alto en supervivencia se puede deber a las buenas características de adaptación de ambas especies, por ejemplo, si comparamos a la especie *Hesperocyparis lusitánica* (Mill.) Bartel y *Schinus molle* L. ambas presentan porcentajes de supervivencia similares (7.98 y 7.03 respectivamente), sin embargo, si consideramos la cantidad de plantas reforestadas por especie de la Tabla 1., encontramos que *Hesperocyparis lusitánica* (Mill.) Bartel tiene 58 plantas y *Schinus molle* 78 plantas, lo cual puede indicar que, aunque *Schinus molle* L. tenga

mayor número de plantas reforestadas, *Hesperocyparis lusitánica* (Mill.) Bartel presenta una mejor adaptación a las condiciones del lugar.

Tabla 5 Porcentaje de supervivencia por especie de donde Vivo es (V), Decadencia es (D), Muerto es (M) en la forestación realizada como medida de compensación ambiental por la construcción del Centro de Distribución Farmacias Guadalajara Zona Centro (2022)

Supervivencia			
Especie	V	D	M
<i>Ligustrum lucidum</i>	79.00	12.00	10.00
<i>Hesperocyparis lusitánica</i>	42.00	6.00	2.00
<i>Acacia melanoxylon</i>	27.00	1.00	17.00
<i>Pinus cembroides</i>	94.00	5.00	1.00
<i>Pinus greggii</i>	14.00	4.00	40.00
<i>Prunus serotina</i>	16.00	2.00	2.00
<i>Schinus molle</i>	37.00	22.00	19.00
<i>Schinus terebinthifolius</i>	53.00	3.00	18.00
<i>Promedio general</i>	45.25	6.88	13.63

En relación con un artículo que evalúa la supervivencia de una reforestación con especies nativas del matorral espinoso tamaulipecos (Mata, 2022), se evaluaron 30 plantas continuas por especie en los años 2019,2020 y 2021. Los mejores porcentajes de supervivencia se observaron en *Cordia boissieri*, *Prosopis texana* y *Vachellia rigidula*. Las variaciones climáticas influyeron en los resultados, la selección de especies debe influir con las características del sitio y la protección y mantenimiento depende de la especie.

Al comparar los resultados de supervivencia del presente estudio con el trabajo de Mata (2022), se observan similitudes importantes. En ambos casos, los mayores porcentajes de supervivencia se concentraron en pocas especies, lo que demuestra que no todas las plantas responden de igual forma ante las condiciones del sitio. En el COBAEH Zapotlán, especies como *Pinus cembroides* Zucc. y *Ligustrum lucidum* W.T. Aiton destacaron por su buena adaptación, mientras que en el estudio de Mata (2022) las especies con mayor supervivencia fueron *Cordia boissieri*, *Prosopis texana* y *Vachellia rigidula*. Esto sugiere que, aunque las

especies cambian según la región y el tipo de vegetación, la clave para lograr buenos resultados recae en la correcta selección de especies nativas o bien adaptadas al clima local.

Además, ambos estudios coinciden en que factores como el comportamiento climático, las características del suelo y el manejo posterior influyen directamente en la supervivencia. Por lo tanto, resulta evidente que la planeación adecuada, el conocimiento previo de la tolerancia de cada especie y su seguimiento después de la plantación son elementos fundamentales para garantizar el éxito de una reforestación, tanto en zonas urbanas como en áreas naturales.

6. CONCLUSIONES

El estudio permitió evaluar y comparar el grado de adaptación de las ocho especies arbóreas plantadas en el COBAEH plantel Zapotlán, mediante el análisis de número de brotes, cantidad de follaje, estado fitosanitario y supervivencia, fue posible identificar diferencias importantes entre especies respecto a su adaptación al clima semiseco templado del sitio.

Las especies que mostraron mejor adaptación fueron *Pinus cembroides* Zucc., *Ligustrum lucidum* W.T. Aiton y *Hesperocyparis lusitánica* (Mill.) Bartel, ya que presentaron mayores promedios de follaje abundante y altos porcentajes de supervivencia, lo cual indica que poseen mecanismos morfológicos y fisiológicos que les permiten tolerar la escasez de agua y la alta radiación, características propias del sitio. En especial, *Pinus cembroides* Zucc. destacó por su resistencia, follaje denso y su capacidad de crecimiento constante, lo que confirma su potencial para reforestaciones en zonas urbanas o semisecas.

En contraste, las especies menos adaptadas fueron *Prunus serotina* Ehrh y *Schinus molle* L., ya que mostraron menores promedios de presencia de follaje escaso y porcentajes inferiores de supervivencia. En el caso de *Prunus serotina* Ehrh, su adaptación limitada puede deberse a que requiere mayor humedad y suelos más profundos, mientras que *Schinus molle* L., aunque es una especie resistente, presentó signos de estrés hídrico y baja producción de follaje, lo cual podría estar relacionado con la competencia por recursos y el tipo de suelo presente en el sitio.

Por lo tanto, al comparar los resultados entre especies, se confirma que no todas responden de la misma manera a las condiciones locales, y que la adaptación depende de la interacción entre sus características biológicas y el ambiente. Esto demuestra que la correcta selección de especies, basada en sus rasgos de adaptación, es esencial para asegurar el éxito de una reforestación, especialmente en zonas con limitaciones climáticas como Zapotlán de Juárez, Hidalgo.

7. REFERENCIAS

Aguilar, D. A. (2004). Estudio de las relaciones altura-diámetro para seis especies maderables utilizadas en programas de reforestación en la Zona Sur de Costa Rica. *Kurú: Revista Forestal*, 1(1).

Aguirre León Abad. (2011). Supervivencia y crecimiento inicial de especies vegetales en el Jardín Botánico de la Quinta El Padmi, Zamora Chinchipe.

Álvarez, C., García, P., & Ramírez, J. (2020). *Impacto de especies exóticas invasoras en la biodiversidad de bosques de pino en Veracruz*. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC).

Álvarez, M., Jiménez, C., & Pérez, L. (2019). Caracterización del clima semiseco y su impacto en la vegetación. *Revista Mexicana de Climatología*, 34(2), 55–72.

Balderas, M., Alanís Rodríguez, E., Sarmiento Muñoz, G., Rodríguez, S., & Garza Pérez, G. (s.f.). Supervivencia y crecimiento de una reforestación de seis especies del matorral espinoso tamaulipeco en el noreste de México.

Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP). (2024). *Programa de Manejo Integral de Especies Invasoras*. Recuperado de <https://www.gob.mx>

Comisión Nacional de Vivienda (CONAVI). (2018). *Manual de Vivienda Sustentable. Climas Seco y Semiseco*. Recuperado de <https://www.scribd.com/document/862670193/CLIMAS-DE-MEXICO-CONAVI>

Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). (2020). *¿Qué es la deforestación?* Obtenido de <https://snmf.cnf.gob.mx/deforestacion/>

Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). (2021). *Lineamientos técnicos para la selección de especies nativas en proyectos de reforestación*. Gobierno de México.

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). (2006). *Capital natural de México. Vol. I: Conocimiento actual de la biodiversidad.*

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). (2010). *Descripciones de los climas de México.* Recuperado de <https://www.scribd.com/document/330776378/Descripciones-Climas-CONABIO>

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). (2022). *Biodiversidad en cifras: indicadores para la conservación en México*

García, A. (2023). *Programa de Reforestación Urbana en la Ciudad de México.* Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT).

García, D., & Morales, E. (2018). Respuestas fisiológicas de especies arbóreas ante estrés ambiental. *Ciencia Forestal en México.* (Faltan volumen/número/páginas).

García, E. (2004). *Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Koppen.* Recuperado de https://sma.gob.mx/wp-content/uploads/2021/06/Cuadro_6_Descripcion_de_los_Tipos_de_Climas.pdf

González, M. (2019). Respuestas fisiológicas de especies arbóreas al estrés hídrico. *Ecosistemas*, 28(1), 67–78.

Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC). (2020). *Impacto de las especies invasoras en los ecosistemas de México.* México. **Jiménez, C.** (2019). Fenología y patrones de crecimiento en árboles de clima seco. *Revista Forestal Latinoamericana.*

Kurbán, A., Papparell, V. V., Cúnsulo, M. H., Montilla, S. E., & Herrera, P. (2002). APORTE DE LA FORESTACION AL CONTROL DEL CLIMA URBANO. *Ambiente, Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 6. Recuperado de https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/158656/CONICET_Digital_Nro.cb2e8646-b453-4dd5-ae24-c20cc0bfa067_A.pdf?sequence=2&isAllowed=y.

López, A. M., Trincado, G., Barrios, A., & Nieto, V. (2013). Modelos regionales de altura-diámetro para plantaciones jóvenes de *Eucalyptus tereticornis* en la costa atlántica colombiana. *Bosque (Valdivia)*, 34. Recuperado de https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-92002013000200012

López, M. (2019). Efectos del cambio climático en la distribución y adaptación de especies forestales. *Ecología Aplicada*..

Martínez, A., & López, S. (2021). Regulación estomática y metabolismo en especies forestales. *Revista Iberoamericana de Ecología*.

Martínez, D., & Ríos, E. (2021). Serotinia y regeneración postincendio en especies de *Pinus* y *Eucalyptus*. *Bosques y Cambio Climático*.

Martínez, J., & Carrillo, F. (2019). Adaptaciones morfológicas de especies arbóreas en condiciones de sequía. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 10(54), 45–58.

Meraz, F. J. (2007). *Diccionario Ambiental y asignaturas afines*.

NOM-059-SEMARNAT-2010. Protección ambiental – Especies nativas de México de flora y fauna silvestres.

Pardos, J. A. (1995). *Calidad de planta y Forestación*.

Pérez, F. (2020). Letargo invernal y adaptación fenológica en especies de zonas templadas. *Ecología Aplicada*.

Pérez, L. (2020). Mecanismos fisiológicos de adaptación en árboles sometidos a estrés hídrico. *Revista Forestal Latinoamericana*.

Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA). (2023). *Vigilancia de especies invasoras*. Recuperado de <https://www.gob.mx/profepa>

Ríos, P. (2020). Expansión de especies invasoras debido al cambio climático. *Revista de Ecología y Conservación*, 5(1), 23–34.

Royo, J. M. (2021). Factores ambientales y físicos que afectan la supervivencia de siete especies forestales en el Estado de México. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 12(64). <https://doi.org/10.29298/rmcf.v12i64.831>

Rueda Sánchez, A., Benavides Solorio, J., Saenz Reyez, J., Muñoz Flores, H., Prieto Ruiz, J., & Orozco Gutiérrez, G. (2018). Calidad de planta producida en los viveros forestales de Nayarit. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 9(47), 58–73.

Ruiz, J. Á. (2016). *Las reforestaciones en México: Problemática y alternativas de solución*.

Ruiz, J. A., & Goche, J. R. (2016). Las reforestaciones en México: Problemática y alternativas de solución.

Ruiz, G. O., Hernández Ramos, J., García Ezpinoza, G., Hernández Ramos, A., Delgado Valerio, P., & García Magaña, J. (2011). Relaciones alométricas para plantaciones de *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. et Cham. en el Estado de México. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 2(6).

Sano, N. K. (2016). RNA-Seq based gene expression analysis of germinating rice seeds exposed to oxidative stress. *Scientific Reports*, 6.

□ **Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT).** (2005). SEMARNAT.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2010). *Atlas de la atmósfera*.

Recuperado de https://gisviewer.semarnat.gob.mx/geointegrador/enlace/atlas2010/atlas_atmosfera.pdf

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2018). *Ecosistemas terrestres*. Obtenido de <https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe18/tema/cap2.html>

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2018). *Guía para el uso de especies nativas en restauración ecológica*.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2023). *Mejoramiento genético de Pinus pseudostrobus - Avances, retos y perspectivas*. Recuperado de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/940014/Mejoramiento_gen_tico_de_Pinus_pseudostrobus_avances_retos_y_perspectivas_compressed.pdf

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2025). *Programa Nacional de Control de Especies Invasoras*. México.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), S. d. (2023). *Mejoramiento genético de Pinus pseudostrobus - Avances, retos y perspectivas*.

Semillas.org.co. (2018). *Producción y conservación de semillas nativas y criollas de buena calidad*. Recuperado de https://www.semillas.org.co/apc-aa-files/5d99b14191c59782eab3da99d8f95126/cartilla-produccion-de-semillas_web.pdf

Simak, M. (1980). Use of X-ray in testing forest tree seeds. *The International Seed Testing Association (ISTA)*.

Sistema Nacional de Monitoreo Forestal. (2021, Septiembre). *Deforestacion*. Obtenido de <https://snmf.cnf.gob.mx/deforestacion/>

Subsecretaría de Medio Ambiente (SMA). (2016). *Características de los principales tipos de climas y subclimas*. Obtenido de https://sma.gob.mx/wp-content/uploads/2021/06/Cuadro_6_Descripcion_de_los_Tipos_de_Climas.pdf.

Varela, S. A. (2011). Latencia, germinación de semillas y tratamientos pregerminativos. *NTA EEA Bariloche, Serie Técnica “Sistemas Forestales Integrados”*, 3–10.

Villarreal, J. et al. (2018). Estrategias de resistencia hídrica en especies del género *Quercus* y *Pinus*. *Madera y Bosques*, 24(3).

Viveros-Viveros, H., Sáenz-Reyes, H., Muñoz-Flores, G., & Vargas-Hernández, J. J. (2006). Variación entre procedencias de *Pinus pseudostrobus* establecidas en dos sitios en Michoacán, México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 29(2), 121–126

Walters, C. W. (2005). Longevity of seeds stored in a genebank: species characteristics. *Seed Science Research*, 15(1), 1–20.