

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN**  
**FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES**



**SOBREVIVENCIA DE TRES ESPECIES DE CONÍFERAS EN EL  
PARQUE NACIONAL CUMBRES DE MONTERREY, NUEVO LEÓN,  
MÉXICO.**

**Por**

**ING. HUGO CARALAMPIO VÁZQUEZ HERNÁNDEZ**

**Como requisito parcial para obtener el Grado de  
MAESTRÍA EN CIENCIAS FORESTALES**

**Mayo, 2025**

**SOBREVIVENCIA DE TRES ESPECIES DE CONÍFERAS EN EL  
PARQUE NACIONAL CUMBRES DE MONTERREY, NUEVO LEÓN,  
MÉXICO.**

POR

ING. HUGO CARALAMPIO VÁZQUEZ HERNÁNDEZ

COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE  
**MAESTRÍA EN CIENCIAS FORESTALES**

Aprobación de la Tesis:



---

DR. JAVIER JIMÉNEZ PÉREZ  
DIRECTOR



---

DR. EDUARDO ALANÍS RODRÍGUEZ  
ASESOR



---

DR. MARCO AURELIO GONZÁLEZ TAGLE  
ASESOR



---

DR. MARCO AURELIO GONZÁLEZ TAGLE  
SECRETARIO ACADÉMICO

**SOBREVIVENCIA DE TRES ESPECIES DE CONÍFERAS EN EL  
PARQUE NACIONAL CUMBRES DE MONTERREY, NUEVO LEÓN,  
MÉXICO.**

Este trabajo fue realizado en el Parque Nacional Cumbres de Monterrey del estado de Nuevo León, del Departamento de Silvicultura, en la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma de Nuevo León, bajo la dirección del Dr. Javier Jiménez Pérez.



---

Dr. Javier Jiménez Pérez  
Director

## **AGRADECIMIENTOS**

A **CONACYT** por la oportunidad de ser partícipe en el apoyo económico que brinda mediante una beca durante dos años para estudiantes de posgrado, así como en el apoyo de Becas para la Inclusión, con lo que pude realizar mis estudios de nivel posgrado en la Facultad de Ciencias Forestales, en la Universidad Autónoma de Nuevo León.

A la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma de Nuevo León, por facilitarme las herramientas necesarias, además de sus instalaciones para poder desarrollar mí proyecto de investigación y así obtener el grado académico de Maestro en Ciencias.

Al Dr. Javier Jiménez Pérez por su asesoría en el proyecto de investigación, por su tiempo dedicado, así como de los conocimientos compartidos que serán, sin duda alguna, parte fundamental en mi vida profesional.

Al Dr. Eduardo Alanís Rodríguez, por su tiempo y apoyo dedicado durante el desarrollo de la investigación, además de formar parte del cuerpo docente durante la maestría.

Al Dr. Marco Aurelio González Tagle, por su apoyo y tiempo brindado en la realización de esta investigación y por ser uno de los docentes durante la maestría.

A mis amigos y colegas; Álvaro Ambrosio Antonio, David Trapero, Abigail Hernández, Joe Rodríguez, Eduardo Montaña, Luís Ferrer, Martín Isidro Luis, Filiberto López, Hanniel López, María de Lourdes Gómez, quienes mediante sus ánimos y consejos siempre me brindaron su apoyo.

## DEDICATORIA

A Dios por cuidar de mí y de mi familia en cada uno de los pasos que hemos dado, brindándonos salud y vida en cada momento.

A mi Familia, el tesoro más grande de mi vida, que a pesar de la distancia, nunca me faltó su amor y apoyo incondicional:

En memoria de mi abuelito **Francisco Vázquez Cruz** y mi pequeña **Andrea Yaquelin Trejo Vázquez**, que desde el cielo me acompañan y aunque ya no están conmigo, vivirán por siempre a cada paso y momento que me quede de vida.

A mis padres, **Matilde Hernández Jiménez** y **Guadalupe Vázquez Díaz**, mis dos grandes pilares de vida, que además de ser dos grandes y maravillosos padres, quienes con su humildad y sencillez me han enseñado a través de su ejemplo y sabios consejos a convertirme en un hombre y profesionalista de principios y valores.

A mis hermanos: **Reyna** (Pillo) mi segunda madre, **José Luis** (Berru), **María Flor** (Muri), **Rosalinda** (Bush), **Juan Carlos** (Erre) y **Olga Guadalupe** (Petsa), a mi cuñado **Yan Carlos** y a mi cuñada **Leticia**. A mis sobrinos; **Gabriel**, **Ángel** y **Karla**, quienes han sido parte fundamental en este trayecto, a quienes agradezco infinitamente por su apoyo incondicional en los buenos y malos momentos, por siempre creer en mí y a quienes amo infinitamente.

A mis abuelitos, **Caralampia Jiménez** y **Emilio Hernández** quienes siempre me apoyaron con sus sabios consejos en cada etapa del trayecto para superarme y tener siempre en mente a la familia en cada paso que doy.

A mis grandes amigos y colegas la Ing. Albaitzel Domínguez y el Ing. Gabriel Díaz, por su apoyo y por su valiosa amistad, que a pesar de la distancia, fueron parte fundamental en esta etapa.

## CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS .....	I
DEDICATORIA .....	II
CONTENIDO.....	III
ÍNDICE DE FIGURAS.....	V
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	V
ÍNDICE DE TABLAS .....	V
RESUMEN.....	VI
XCH'AKULAB'IL.....	VII
ABSTRACT.....	IX
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. ANTECEDENTES .....	3
2.1. Generalidades de las coníferas (pinos) .....	3
2.1.1. Importancia ecológica.....	3
2.2. Coníferas en México .....	3
2.2.1. Coníferas en Nuevo León .....	4
2.2.2. Aspectos ecológicos, distribución y situación actual de <i>Pinus cembroides</i> , <i>Pinus greggii</i> y <i>Pinus pseudostrobus</i> . .....	5
2.3. Impactos ambientales y amenazas .....	7
2.3.1. Cambio climático.....	7
2.3.2. Incendios forestales .....	7
2.4. Obras de restauración y conservación.....	8
III. OBJETIVOS .....	10
3.1. Objetivo general .....	10
3.2. Objetivos específicos.....	10
3.3. Hipótesis .....	10
IV. MATERIALES Y MÉTODOS.....	11
4.1. Área de estudio .....	11

<b>4.2.</b>	<b>Características físicas del área de estudio .....</b>	<b>14</b>
4.2.1.	Clima .....	14
4.2.2.	Fisiografía .....	14
4.2.3.	Edafología .....	14
4.2.4.	Hidrología .....	15
<b>4.3.</b>	<b>Características biológicas .....</b>	<b>15</b>
4.3.1.	Vegetación .....	15
4.3.2.	Fauna .....	16
<b>4.4.</b>	<b>Trabajo de campo.....</b>	<b>17</b>
4.4.1.	Reforestación .....	17
4.4.2.	Variables dasométricas .....	17
<b>4.5.</b>	<b>Trabajo de gabinete.....</b>	<b>18</b>
4.5.1.	Análisis estadístico .....	18
4.5.2.	Variables climatológicas .....	19
<b>V.</b>	<b>RESULTADOS.....</b>	<b>20</b>
<b>5.1.</b>	<b>Reforestación 2022 .....</b>	<b>20</b>
5.1.1.	Características dasométricas de las especies .....	20
5.1.2.	Sobrevivencia.....	20
5.1.3.	Factores climáticos (temperatura y precipitación). .....	21
<b>5.2.</b>	<b>Reforestación 2023 .....</b>	<b>22</b>
5.2.1.	Características dasométricas de las especies .....	22
5.2.2.	Sobrevivencia.....	22
5.2.3.	Factores climáticos (temperatura y precipitación) .....	22
<b>5.3.</b>	<b>Comparación de resultados obtenidos de los años 2022 y 2023 .....</b>	<b>23</b>
5.3.1.	Variables dasométricas.....	23

5.3.2. Sobrevivencia.....	24
5.3.3. Comportamiento de temperatura y precipitación .....	25
<b>VI. DISCUSIÓN .....</b>	<b>26</b>
6.1. Variables dasométricas .....	26
6.2. Sobrevivencia .....	27
6.3. Factores climáticos y fechas de reforestación .....	28
<b>VII. CONCLUSIONES.....</b>	<b>30</b>
<b>VIII. RECOMENDACIONES .....</b>	<b>31</b>
<b>IX. BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>32</b>

### ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1. Mapa de ubicación del Parque Nacional Cumbres de Monterrey (elaborado con información de INEGI) .....</b>	<b>12</b>
<b>Figura 2 Mapa de ubicación de las áreas de reforestación (elaborado con información de INEGI).....</b>	<b>13</b>

### ÍNDICE DE GRÁFICOS

<b>Gráfica 1. Factores climáticos del año 2022 (temperatura y precipitación) .....</b>	<b>21</b>
<b>Gráfica 2. Factores climáticos del año 2023 (temperatura y precipitación) .....</b>	<b>23</b>

### ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1. Tipos de clima presente en el Área de estudio.....</b>	<b>14</b>
<b>Tabla 2. Tipos de vegetación en el Parque Nacional Cumbres de Monterrey.....</b>	<b>16</b>
<b>Tabla 3. Promedios de altura y diámetro por especie (2022) .....</b>	<b>20</b>
<b>Tabla 4. Sobrevivencia por especie en el 2022.....</b>	<b>20</b>
<b>Tabla 5. Promedios de altura y diámetro por especie (2023).....</b>	<b>22</b>
<b>Tabla 6. Sobrevivencia por especie en 2023.....</b>	<b>22</b>
<b>Tabla 7. Comparación de promedios de las variables altura y diámetro por especie 2022 y 2023.....</b>	<b>24</b>

## RESUMEN

Las coníferas se caracterizan por ser un grupo de plantas que predominan en el hemisferio norte, con una mayor diversidad hacia el ecuador. México es considerado el principal centro de diversificación del género *Pinus*, con aproximadamente 47 de las 111 especies registradas a nivel mundial, de las cuales 16 de ellas se distribuyen en el estado de Nuevo León. El objetivo principal de la presente investigación es evaluar la sobrevivencia de tres especies de pino en las reforestaciones 2022-2023 en el PNCM y determinar si existe diferencia significativa en las tasas de sobrevivencia. En los años de reforestación se emplearon tres especies de pino (*Pinus cembroides*, *Pinus greggii* y *Pinus pseudostrobus*), con una superficie total de 420.5 hectáreas (332.12 has en 2022 y 98.4 has en 2023) y una densidad de 1100 individuos por hectárea. En campo se empleó el muestreo sistemático con sitios circulares de 100 m<sup>2</sup> determinando parámetros de altura y diámetro del cuello de la raíz. Para el análisis de sobrevivencia se empleó la fórmula establecida por la CONAFOR, y dada la naturaleza de los datos, se aplicó la prueba de normalidad K-S y posteriormente la prueba de U de Man-Whitney para determinar diferencias significativas. Para conocer el comportamiento de las variables climáticas de temperatura y precipitación, se emplearon datos de CONAGUA y de la NASA. Se observa que en 2022 y 2023, *Pinus greggii* presenta la mayor altura (36.9 cm y 24.8 cm) y diámetro (4.8 mm y 6.3 mm), mientras que *Pinus pseudostrobus* y *Pinus cembroides* tuvieron valores similares en altura y en diámetro, siendo éste último con los valores más bajos, y a manera general los valores obtenidos en el 2022 fueron mayores a los del 2023. La tasa de sobrevivencia registrada para cada reforestación fue del 41.5 % en 2022 y del 61.7 % en 2023, este último año se distingue por tener la tasa más alta, con una diferencia significativa ( $p = 0.0001$ ) y se clasifica con una sobrevivencia aceptable. Respecto a las especies se observa que *Pinus cembroides* presenta la mayor tasa de sobrevivencia en ambas reforestaciones (27.03 % en 2022 y un 44.4 % en 2023), seguido por *Pinus pseudostrobus* y *Pinus greggii* con la tasa más baja. Para los registros de precipitación muestran un incremento prolongado en el año 2023, lo que indica la alta sobrevivencia en comparación al año 2022. Se observa una diferencia significativa en la tasa de sobrevivencia. Los factores climáticos desempeñan un papel determinante en la sobrevivencia.

**Palabras clave:** Reforestación, Sobrevivencia, Temperatura, Precipitación, Coníferas.

## XCH'AKULAB'IL

Ja konipera'i', wa xnaxi sb'aj ke ja te' jumasa' mas jitsan ja b'a lado norte'i', cha jachuk jel jitsan ta'ub'al ja b'a Ecuadori'. Jaxa ja b'a México ti wa xtax ja tuktukil taj jumasa'i' (pino), ja b'a ili', ta'ub'al mojan 47 tuktukil taj ja b'a 111 ta'ub'al k'eljel ja b'a sutanal satk'inali', ja janek' ta'ub'al ja b'a Mexico'i', 16 tuktukil taj tey b'a Nuevo León. Ja a'tel iti', wa xmakuni b'a oj sje' ja sak'anil ja oxo' tuktukil taj ts'unub'al ja b'a jab'il 2022 sok ja b'a jab'il 2023 b'a PNCM, b'a jachuk oj sje' jas jab'ilil mas kanel sak'an ja te' ts'unub'al'i'. Ja b'a yajtab'il ts'unxi'i', makuni oxo' tuktukil yal taj (*Pinus cembroides*, *Pinus greggii* y *Pinus pseudostrobus*), jaxa slujmal b'a ch'ak ts'unxuk ja tuktukil yal taj iti', sniwanil 420.5 ektarya (332.12 ektarya ja b'a jab'il 2022 sok 98.4 ektarya ja b'a jab'il 2023), ts'unxi 1,100 yal te' ja b'a kada ektarya'i'. Ja a'tel k'ulxi ja yajni waj b'isjuk ja sak'anil ja yal te' jumasa'i', makuni atijub' jastal b'a oj naxuk janek' ja sutanal sok ja sniwanil ja yal te' jumasa' jastal b'a 100 m<sup>2</sup> jachuk ch'ak b'isjuk ja xcha'anil sok ja janek' stolanil ja yech ja yal te'i'. Jaxa ja b'a oj k'elxuk ja sak'anil ja tuktukil yal taji', makuni jun atijub' k'ulub'al yuj ja CONAFOR sok oxo' yal tuktukil taj, makuni ja prueba b'a normalidad K-S sok ja prueba b'a U de Man-Whitney, b'a oj k'eljuk jas jab'ilil kan mas sak'an ja yal tuktukil taj jumasa'i'. Ja b'a oj naxuk' jastal ajyi jan ja k'ak'u sok ja ja'i', makuni ja a'tel k'ulub'al b'a CONAGUA sok ja b'a NASA. Ja b'a jab'il 2022 sok ja b'a jab'il 2023, tax k'eljel ke ja *Pinus greggii* yen mas jel cha'an (36.9 cm y 24.8 cm) sok cha yen mas jel tolanik ja yechi' (4.8 mm y 6.3 mm), jaxa ja *Pinus pseudostrobus* sok ja *Pinus cembroides* juxta ja xcha'anile'i' sok ja stolanil ja yeche'i', ja yal taj mas ko'el ja xcha'anil sok ja stolanil ja yechi', ja *Pinus cembroides*, jaxa ja b'a yib'anal yal tuktukil taji', ja b'a 2022 ja' jab'il tax k'eljel ke mas cha'anik sok mas tolanik yuj ja b'a 2023. Ja sak'anil ja yal tuktukil taji', tax k'eljel 41.5 % ja b'a jab'il 2022, jaxa ja b'a jab'il 2023 tax k'eljel 61.7 %, jachuk ilxi jas jab'ilil mas cha'an sok lek'ay ja sak'anili', sje'a sb'aj ( $p = 0.0001$ ). Jaxa ja b'a tuktukil yal taji', ja *Pinus cembroides* yen kanye' mas sak'an ja b'a xchab'il jab'ili' (27.03 % ja b'a 2022 sok jun 44.4 % ja b'a 2023), tixa nochan ja *Pinus pseudostrobus*, jaxa ja *Pinus greggii* yen tax k'eljel ke mas ko'el ja sak'anile'i'. Ja b'a jab'il 2023 mas jel alb'i sok jel ko' och ja ja'i', ja yuj mas ilxi sak'anil ja yal tuktukil taj yuj ja b'a 2022. Tax k'eljel ke mi juxta'uk ja sak'anil ja yal tuktukil taj ts'unub'al ja b'a

jab'il 2022 sok ja 2023. Ja' yuj ja b'a yixawil ja'i', jel t'ilan oj k'elxuk, b'a jachuk oj kan sak'an ja yal tuktukil taj jumasa'i'.

**St'ilanil yaljel:** ts'unwanel, sak'anil, k'ak'uj, ja', taj jumasa'.

Traducción revisada por la Lingüista **María Rosalinda Vázquez Hernández.**

## ABSTRACT

Conifers are characterized as a group of plants that predominates in the northern hemisphere, with greater diversity towards the equator. Mexico is considered the main center of diversification for the genus *Pinus*, with approximately 47 of the 111 species recorded worldwide, 16 of which are distributed in the state of Nuevo León. The main objective of this research is to evaluate the survival of three pine species in the 2022-2023 reforestation efforts in the PNCM (Cumbres de Monterrey National Park) and determine if there is a significant difference in the survival rates. In the reforestation years, three pine species (*Pinus cembroides*, *Pinus greggii*, and *Pinus pseudostrobus*) were used, covering a total area of 420.5 hectares (332.12 ha in 2022 and 98.4 ha in 2023) with a density of 1100 individuals per hectare. A systematic sampling method was used in the field with circular plots of 100 m<sup>2</sup>, measuring height and root collar diameter parameters. For the survival analysis, the formula established by CONAFOR was used, and given the nature of the data, the K-S normality test was applied, followed by the Mann-Whitney U test to determine significant differences. To assess the behavior of climatic variables such as temperature and precipitation, data from CONAGUA and NASA were used. It was observed that in 2022 and 2023, *Pinus greggii* showed the greatest height (36.9 cm and 24.8 cm) and diameter (4.8 mm and 6.3 mm), while *Pinus pseudostrobus* and *Pinus cembroides* had similar values for height and diameter, with the latter having the lowest values. Overall, the values obtained in 2022 were higher than those in 2023. The recorded survival rate for each reforestation was 41.5% in 2022 and 61.7% in 2023, with the latter year standing out for having the highest rate, showing a significant difference ( $p = 0.0001$ ) and being classified as having an acceptable survival rate. Regarding species, it was found that *Pinus cembroides* had the highest survival rate in both reforestations (27.03% in 2022 and 44.4% in 2023), followed by *Pinus pseudostrobus* and *Pinus greggii*, which had the lowest survival rate. Precipitation records showed a prolonged increase in 2023, indicating higher survival compared to 2022. A significant difference in survival rate was observed. Climatic factors play a decisive role in survival.

**Keywords:** Reforestation, Survival, Temperature, Precipitation, Conifers.

## I. INTRODUCCIÓN

En México existe una gran preocupación sobre la problemática actual de los recursos naturales y su creciente deterioro, causados por distintos factores naturales y humanos (Jiménez, *et al.*, 2021). Esta destrucción de la vegetación de los ecosistemas forestales está relacionada a las actividades antropogénicas, principalmente la agricultura, ganadería y forestería mal planificadas (Domínguez-Caballero *et al.* 2001).

A través de los años, México ha enfrentado procesos crecientes de deforestación, pérdida y degradación de los ecosistemas, a causa de la alta demanda de terrenos para la agricultura, la ganadería, desarrollos urbanos y turísticos, lo que ha destruido totalmente y degradado grandes superficies forestales (CONAFOR, 2010).

Sin embargo, uno de los principales factores que amenazan fuertemente los ecosistemas y bosques forestales es el cambio climático (García-Valdés y Morales-Castilla, 2016), reflejándose en los aumentos de temperatura, los niveles de CO<sub>2</sub> en la atmósfera, cambios en los patrones de precipitación, con impactos negativos en los bosques del mundo y el sector forestal (Moore y Allard, 2008), cuyos efectos provoca una gran pérdida de superficie forestal y por ende la pérdida de los servicios ambientales como el agua y la biodiversidad (Gómez-Guerrero, *et al.*, 2021). Así mismo, la frecuencia de incendios forestales en las diferentes regiones del país, son uno de los efectos propiciados por los aumentos de temperatura (Moore y Allard, 2008), afectando grandes superficies de bosque año tras año.

Estos efectos han llevado a la sociedad en la búsqueda de soluciones para mitigar los impactos que actualmente causan dichos fenómenos. La restauración de ecosistemas forestales en áreas degradadas es una tarea difícil, en el sentido de que es prácticamente imposible llegar al estado original de un bosque ante cualquier disturbio. Sin embargo, con el tiempo y la intervención de distintas herramientas de restauración forestal, se logra recuperar un mayor porcentaje de la estructura, la productividad y la diversidad de un ecosistema, en conjunto con los procesos ecológicos y las funciones que permitirán a paso lento su restablecimiento (Venegas, 2016).

La búsqueda de soluciones a los diferentes factores que afectan los ecosistemas ha conducido a la implementación de Áreas Naturales Protegidas, como una de las soluciones naturales para hacer frente a la degradación de los ecosistemas, ya que además de brindar protección a eventos extremos y a la captura de carbono, representan una oportunidad para el crecimiento económico, así como el bienestar a la sociedad y principalmente a la conservación del patrimonio natural mexicano (CONANP, 2017), mientras que en las áreas afectadas por incendios forestales, una de las soluciones viables es la implementación de obras de reforestación como una alternativa de restauración con las especies adecuadas. Durante las últimas décadas en México se han incrementado las obras de restauración y conservación de ecosistemas, siendo las reforestaciones una de las principales actividades para la restauración forestal, donde la rehabilitación con coníferas ha sido puntos clave (CONAFOR, 2021; García, 2019).

Por lo anterior, la presente investigación pretende realizar una evaluación a obras de conservación y restauración en áreas afectadas por los incendios forestales ocurridos en 2020, afectando a grandes superficies de bosque en el Noreste de México, entre ellos el Parque Nacional Cumbres de Monterrey (PNCM), donde se han establecido obras de restauración y conservación de suelos, principalmente obras de reforestación empleando tres especies de coníferas nativas del lugar. Es por ello que se pretende evaluar las reforestaciones establecidas en los años 2022 y 2023, con el objetivo de determinar la sobrevivencia de las tres especies de pino (*Pinus cembroides*, *Pinus greggii* y *Pinus pseudostrobus*) y observar si existe diferencia significativa entre los periodos de evaluación.

## **II. ANTECEDENTES**

### **2.1.Generalidades de las coníferas (pinos)**

Las coníferas se caracterizan por ser un grupo de plantas que producen semillas en conos o estróbilos ovulíferos, ocurren de forma predominante en el hemisferio norte, con una mayor diversidad hacia el ecuador, además de que se tienen reconocidas actualmente ocho familias, entre ellas la *Pinaceae* con 231 especies (González-Martínez, 2021).

Como un grupo de vegetación milenaria, las coníferas han estado presentes como fuente de alimentos para una multitud de formas de vida desde hace millones de años, desde su aparición se han modificado poco, promoviendo importantes servicios ambientales al planeta (Manzanilla-Quñones *et al.*, 2018). La diversidad florística y ecológica de las coníferas la caracterizan por distribuirse en diferentes tipos de clima, como en zonas templadas, húmedas y subhúmedas (Rodríguez-Moreno *et al.*, 2016).

#### **2.1.1. Importancia ecológica**

Los inmensos bosques de coníferas del mundo representan el sumidero de carbono terrestre más grande (Academia lab. 2024), quienes se encargan de proveer múltiples servicios ambientales al planeta como importantes productores de oxígeno, captura de carbono, captación de agua, humedad, regulación del clima local y conservación de la biodiversidad, además de ser los principales retenedores de suelo en las partes montañosas de grandes altitudes, evitando la erosión y brindando refugio y alimento a la fauna silvestres (Manzanilla-Quñones *et al.*, 2018; Estrada-Castillón *et al.*, 2014).

Los pinos son de gran importancia ecológica, económica y social, pues a menudo son el componente de la vegetación, influyen en los procesos funcionales del ecosistema, como los ciclos biogeoquímicos, hidrológicos, los regímenes de fuego, y son hábitat y fuente de alimento para la fauna silvestre (Sánchez-González, 2008).

### **2.2. Coníferas en México**

La riqueza florística presente en México se debe a la amplia variedad de condiciones fisiográficas y climáticas, así como la distribución geográfica, por ejemplo, las numerosas sierras y cadenas montañosas aisladas (Rzedowski, 1978), dando lugar a una gran diversidad de coníferas, distribuyéndose principalmente en la Sierra Madre Oriental,

Sierra Madre Occidental, Eje Neovolcánico Transversal y Sierra Madre del Sur, siendo el género *Pinopsida* el más común, más frecuente y con mayor número de especies, habitando en elevaciones que van desde los 1,200 a los 4,000 msnm (Estrada-Castillón *et al.*, 2014).

Las coníferas están presentes en diversos tipos de vegetación, en México se encuentran en el bosque de pino, matorral de pino, bosque de *Abies*, bosque de *Pseudotsuga* y *Picea*, bosque o matorral de *Juniperus* y bosque de *Cupressus*, al igual en otros tipos de vegetación como el bosque mesófilo de montaña, bosque mixto (bosque de pino-encino), y matorral xerófilo y bosque de galería (Rzedowski, 1978; Gernandt y Pérez, 2014), albergando el 14 % del total de especies de coníferas existentes a nivel mundial, siendo el principal centro de diversificación del género *Pinus*, con aproximadamente 47 de las 111 especies registradas, donde cerca del 50 % sólo se encuentran en México (Manzanilla-Quñones *et al.*, 2018).

En México se estima que en los bosques de pino y pino-encino existen alrededor del 24 % del total de la flora del país, donde la mayoría son especies endémicas, manteniendo una enorme diversidad de seres vivos que representan bienes y servicios importantes (Sánchez-González, 2008).

### **2.2.1. Coníferas en Nuevo León**

De los 10 géneros de coníferas identificadas en México, 8 se encuentran distribuidos en el estado de Nuevo León, encontrándose en la Sierra Madre Oriental (González-Martínez, 2021), considerado uno de los estados con mayor diversidad del género *Pinus*, donde actualmente se han identificado 16 especies en el estado (Favela-Lara, 1999; Estrada-Castillón *et al.*, 2014).

De las 16 especies distribuidas en Nuevo León, ocho se encuentran presentes en el Parque Nacional Cumbres de Monterrey (González, Martínez, 2021).

### **2.2.2. Aspectos ecológicos, distribución y situación actual de *Pinus cembroides*, *Pinus greggii* y *Pinus pseudostrobus*. *Pinus cembroides* Zucc.**

Como parte del grupo de pinos “piñoneros”, esta especie tiene una distribución desde la parte oeste de EUA hasta México, principalmente en los estados de Chihuahua, Coahuila, Durango, Nuevo León, Tamaulipas, Veracruz, Zacatecas, San Luis Potosí, Aguascalientes, Guanajuato, Hidalgo y Querétaro, siendo la especie con la más amplia distribución en México (Constante-García *et al.*, 2008; Rzedowski, 2006).

Los bosques de piñoneros son muy extensos, principalmente en las cadenas montañosas de la parte norte del país, conformando una transición entre las formaciones xerofíticas de la altiplanicie mexicana y las vertientes internas de la Sierra Madre Oriental y la Sierra Madre Occidental (CONABIO, 2024). De acuerdo con Pompa y Yarena (2014), la especie se desarrolla en condiciones bajas, en comparación con otras coníferas que son más exigentes, por lo que representa una alternativa para incorporarse a estrategias de servicios ambientales, como una fuente complementaria y almacenamiento de carbono, además de su amplia distribución en zonas de transición.

Además de ser considerada como la especie más abundante y con mayor superficie de distribución en México (Estrada-Castillón *et al.*, 2014), también proporciona beneficios al ser una de las especies con mayor demanda en la producción de árboles de navidad (Padilla, 2017).

#### ***Pinus greggii***

Considerada endémica de México, *Pinus greggii* es una especie de gran importancia económica (industria del aserrío) y ecológica en las áreas de distribución natural (Hernández-Pérez *et al.*, 2001).

Se distribuye en poblaciones aisladas de la Sierra Madre Oriental, zonas semiáridas y en algunas regiones semitropicales, principalmente en los estados de Coahuila, Hidalgo, Nuevo León, Puebla, San Luis Potosí, Tamaulipas y Veracruz, actualmente en categoría de vulnerable acorde a la UICN (Ramírez-Herrera *et al.*, 2005; CONABIO, 2022), la especie pertenece a bosque de pino y pino-encino, asociándose con *P. patula*, *P. teocote*, *P. cembroides*, *P. pseudostrobus* y *P. arizonica*, así como algunas especies de latifoliadas

como *Quercus spp.* (Vázquez, 2018; Rzedowski, 2006), situándose a una elevación que va desde los 1, 850 y 3, 000 msnm, en el centro y sur del estado de Nuevo León, especialmente en los municipios de Galeana, Aramberri y Zaragoza (Estrada-Castillón, *et al.*, 2014).

*Pinus greggii* tiene características de importancia ecológica y calidad de madera para ser considerada con un alto potencial no sólo para restauración y protección, sino para el establecimiento de plantaciones forestales con fines de disminuir la presión existentes en los bosques naturales (García-Velasco, 2017), además de que la especie responde favorablemente a las condiciones de humedad limitada, la cual se posiciona como apta para programas de reforestación en la recuperación de suelos degradados, así como en programas de plantaciones comerciales, ya que en México es considerada por el Programa Nacional de Reforestación como la cuarta especie de pino más importante en plantaciones (Ramírez-Herrera *et al.*, 2005).

### ***Pinus pseudostrobus* Lindl.**

*Pinus pseudostrobus* está clasificado como una de las mejores especies del género por presentar rápido crecimiento y buena producción de resina y madera para triplay, chapa, papel, celulosa y para cajas de empaque, entre otros productos (Eguiluz, 1978, citado por Hernández Carmona *et al.*, 2003). Su rango de distribución se encuentra entre el norte de la Sierra Madre Oriental, el Eje Neovolcánico, Las Sierras del Norte y Sur de Oaxaca, en la Sierras del estado de Chiapas y hasta Centroamérica, en elevaciones que van desde los 950 hasta los 3000 msnm (García-Campusano *et al.* 2024). Actualmente se encuentra en categoría de preocupación menor (LC) por la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN).

Es una de las especies más demandadas en proyectos de reforestación en México, así como una de las especies maderables más explotadas (Viveros-Viveros *et al.*, 2006; Rzedowski, 2006). Dado a su importancia económica, ecológica y social, *Pinus pseudostrobus*, está catalogada como una especie prioritaria para fines de conservación, reforestación y restauración (CONAFOR, 2016).

### **2.3. Impactos ambientales y amenazas**

El impacto de los disturbios antropogénicos es considerable debido a que los humanos han modificado casi todas las regiones terrestres del planeta, y en consecuencia no hay garantía de que el hábitat idóneo para una especie sea factible dentro de un paisaje fuertemente fragmentado (López-Sandoval *et al.*, 2015).

La constante pérdida de la cubierta vegetal o bien, la biodiversidad puede ocasionar cambios drásticos en un futuro, donde la influencia directa del ser humano representa uno de los principales factores adversos para las comunidades vegetales, siendo una severa amenaza para la flora regional, principalmente por el cambio de uso de suelo, cambio climático, incendios forestales, entre otros (Alanís *et al.*, 2004).

#### **2.3.1. Cambio climático**

Uno de los principales factores que amenaza fuertemente a los ecosistemas forestales es el cambio climático, producto de las actividades humanas (García-Valdés y Morales-Castilla, 2016), en un contexto donde las diversas especies tendrán que enfrentar las presiones del ambiente, tales como el incremento de la temperatura y alteraciones de los patrones de precipitación (Villers y Trejo, 2000). Este fenómeno es uno de los gigantescos retos a los que se enfrentan los bosques, siendo la consecuente del peligro de la desertificación, las sequías y los incendios forestales (González-Martínez, 2021).

Según la CONAFOR (2014), se estima que para el 2030, la temperatura tendrá un incremento de 1.5 °C, con una disminución en la precipitación del 6.7 %, estos cambios provocarán un aumento significativo de la aridez en México, con severas consecuencias en el deterioro de la vegetación natural. Estos cambios brindan un panorama de lo necesario que es realizar una serie de acciones encaminadas a favorecer la adaptación de las poblaciones forestales al cambio climático, para desacelerar un proceso de declinación forestal.

#### **2.3.2. Incendios forestales**

Aunque el fuego es un factor natural de los ecosistemas forestales, de perturbación ecológica y de transformación del paisaje, además de formar parte de la dinámica de los

ecosistemas como herramienta de trabajo, existe evidencia de que la intervención humana ha propiciado parte de los incendios que se han presentado en los últimos años, con mayor frecuencia e intensidad, provocando daños ecológicos y económicos a gran escala (Jiménez-Pérez *et al.*, 2021; CONAFOR, 2021).

Lamentablemente, el fuego se ha convertido en un factor de origen antrópico en la mayoría de las veces, y ocurre con una frecuencia e intensidad mucho mayor que cuando era de origen natural, lo que ha hecho que se tengan resultados adversos para los ecosistemas (Mataix y Guerrero, 2007).

Diariamente en algún lugar en el mundo, se afecta por el fuego miles de hectáreas de bosques. Según datos de la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR, 2022), entre los años 2021 y 2022, en México se registraron 6,719 incendios forestales, ocasionados principalmente por las quemas agropecuarias y el cambio y uso del suelo. Este último, es considerado como una de las causas principales de la pérdida y fragmentación de los hábitats. El uso de los recursos para satisfacer las necesidades de la vida moderna ha aumentado y los métodos de explotación de los recursos naturales se han vuelto más eficientes ocasionando la destrucción masiva de ecosistemas (Badii *et al.*, 2015).

#### **2.4. Obras de restauración y conservación**

González-Martínez (2021) hace referencia a la vital importancia de conocer y tener presente la biodiversidad que se tiene, para así poder ejercer programas adecuados para la preservación de los ecosistemas. No obstante, la importancia de generar nuevos modelos de restauración ecológica para ecosistemas perturbados por incendios forestales, el cual radica en diseñar herramientas para prevenir, controlar y mitigar estos incidentes (Jiménez, *et al.*, 2021).

Las obras de reforestación como parte de las acciones de restauración y conservación de suelos, son consideradas como una de las mejores estrategias para la recuperación de bosques, para la mejora de la calidad del suelo y por ende, en una mayor infiltración de agua para la recarga de los mantos acuíferos (SEMARNAT, 2017).

Para el establecimiento exitoso de las plantas en los sitios de reforestación, es de vital importancia la correcta elección de la especie y su distribución geográfica (procedencia)

de la semilla para la producción de planta en vivero (Viveros-Viveros *et al.*, 2006). Estudios demostrados por Cambrón-Sandoval *et al.*, (2013), donde hacen referencia que mientras más alta sea la densidad de planta por hectárea en una reforestación, más baja será la sobrevivencia, debido a que la competencia tiende a ser mayor para las plantas, lo que indica la importancia de una correcta planeación en el establecimiento de reforestaciones.

### **III. OBJETIVOS**

#### **3.1. Objetivo general**

Evaluar la sobrevivencia de tres especies de pino en las reforestaciones 2022-2023 en el PNCM y determinar si existe diferencia significativa en las tasas de sobrevivencia.

#### **3.2. Objetivos específicos**

Determinar la sobrevivencia de cada una de las especies de coníferas; *Pinus cembroides*, *Pinos greggii* y *Pinus pseudostrobus*.

Definir cuál de las especies tiene mayor probabilidad de sobrevivencia.

Identificar factores asociados al porcentaje de sobrevivencia.

Determinar el comportamiento de los patrones de precipitación y temperatura, fecha de plantación y su relación con la sobrevivencia de las especies.

#### **3.3. Hipótesis**

Existe una diferencia significativa en la tasa de sobrevivencia de las coníferas reforestadas entre los años 2022 y 2023 por patrones de precipitación y temperatura.

## IV. MATERIALES Y MÉTODOS

### 4.1. Área de estudio

El Parque Nacional Cumbres de Monterrey se encuentra ubicado en el centro-oeste del estado de Nuevo León, en la Sierra Madre Oriental, colindando con el estado de Coahuila, siendo parte territorial de ocho municipios del estado: Allende, García, Montemorelos, Monterrey, Rayones, Santa Catarina, Santiago y San Pedro Garza García, aunque ninguno de ellos se encuentra en su totalidad dentro del Parque (SEMARNART, 2016; PCM, 2006). Se ubica en las coordenadas geográficas 26°31'00" Latitud Norte y 100° 17'20" Longitud Oeste (Róvalo-Merino *et al.*, 2013). Históricamente se le conocía con el nombre de Cumbres de Monterrey, fue hasta el 24 de noviembre de 1934 que fue declarado como Área Natural Protegida con carácter de Parque Nacional (DOF, 1969).

El PNCM se encuentra dentro de la Región Biogeográfica Neártica (templada), de ambientes secos con zonas áridas, bosques húmedos y pastizales, lo que contribuye a su gran riqueza natural (CONABIO, 2020; Morrone, 2019), principalmente bosques de pino y encinos, así como diversas composiciones florísticas a lo largo de los ríos y cañadas, siendo una de las comunidades de mayor valor ecológico en el estado de Nuevo León (SEMARNAT, 2016).

Los incendios ocurridos en el 2021 afectaron grandes superficies del PNCM, mismas en las que se encuentra el área de reforestación, principalmente en el municipio de Santiago y parte de Santa Catarina, localizándose en las coordenadas geográficas 25°21'15.88" Latitud Norte y 100° 24'06.06" Longitud Oeste, a una altitud promedio de 2137 msnm, como se ilustra en el siguiente mapa de ubicación:

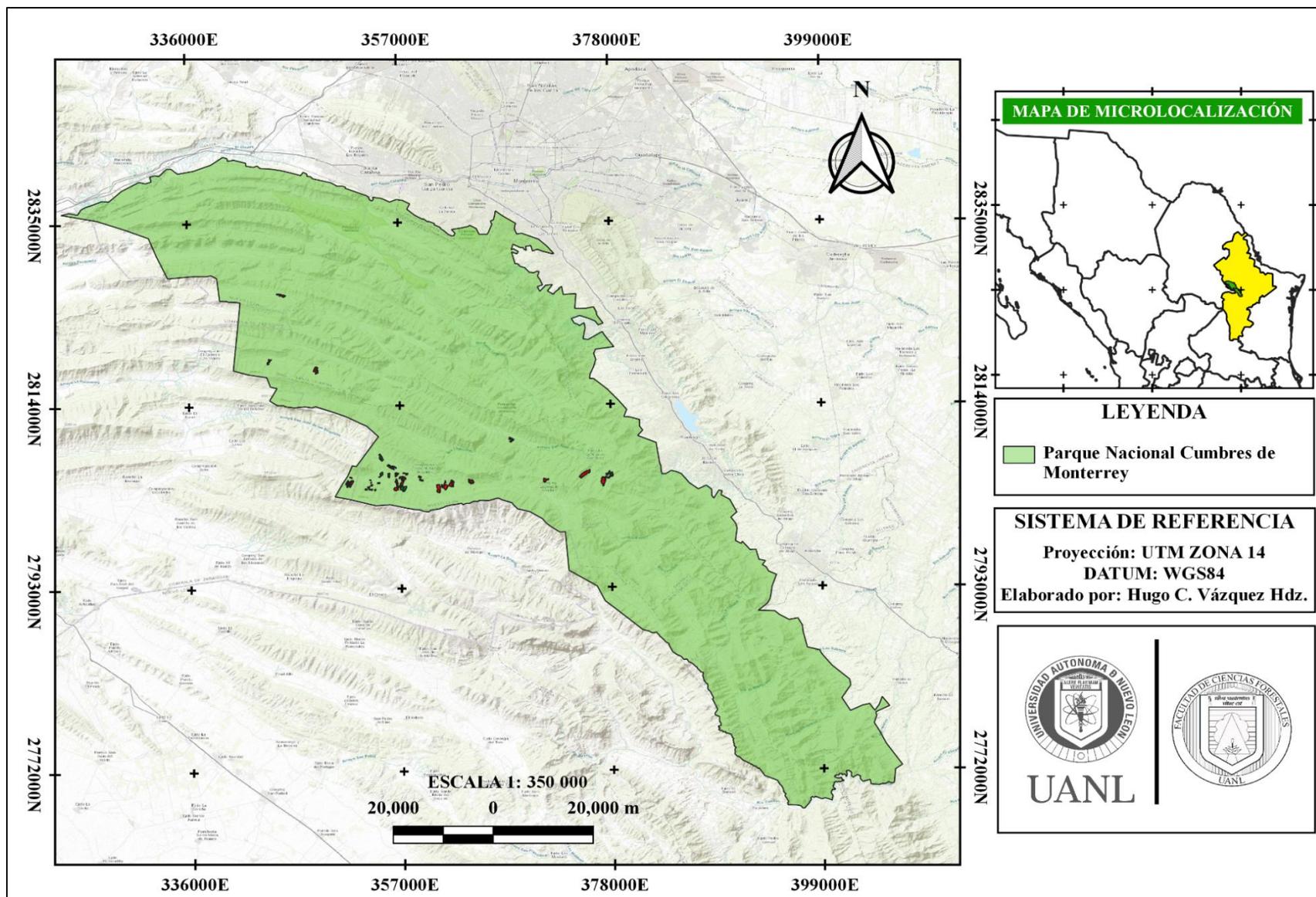


Figura 1. Mapa de ubicación del Parque Nacional Cumbres de Monterrey (elaborado con información de INEGI)

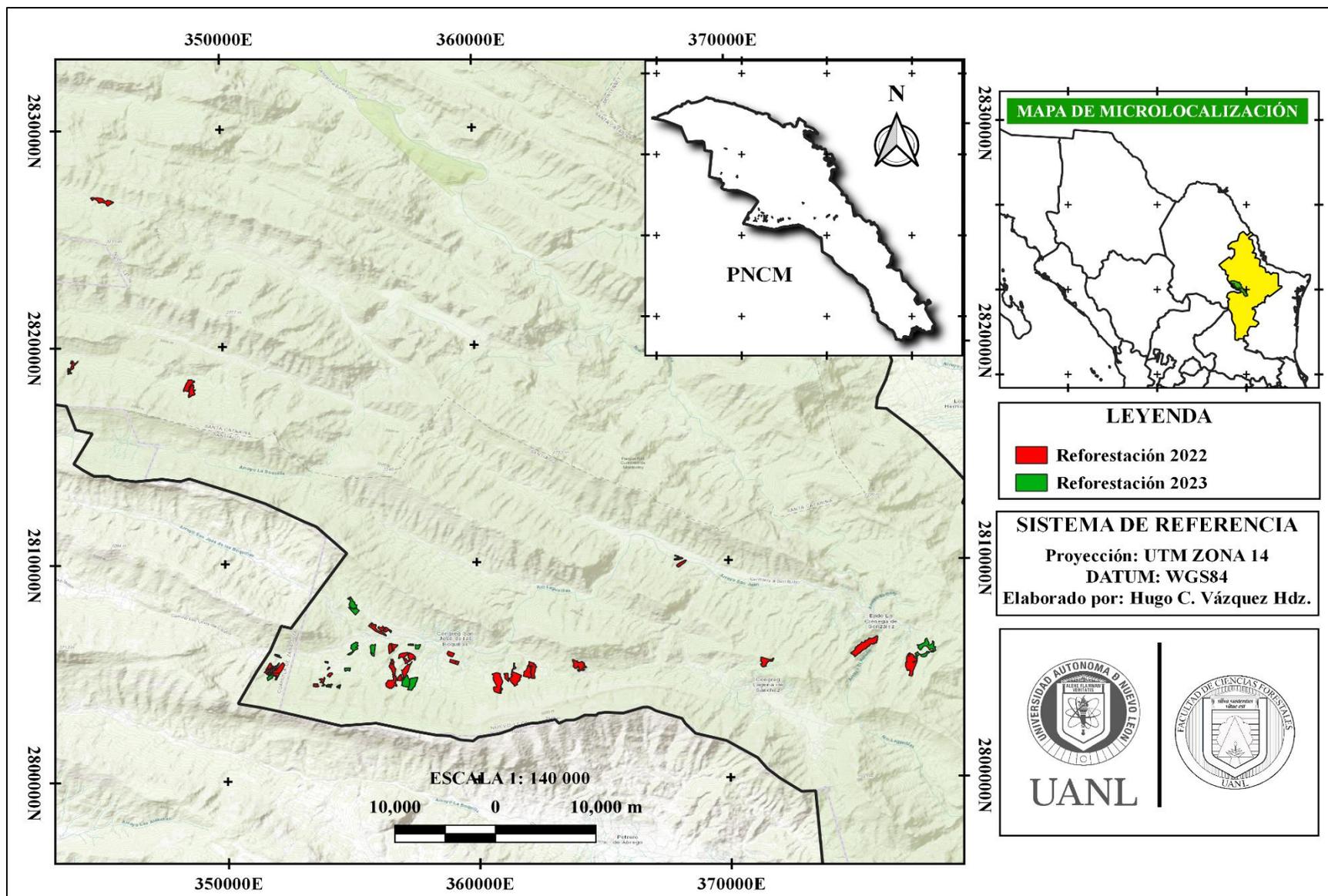


Figura 2 Mapa de ubicación de las áreas de reforestación (elaborado con información de INEGI).

## 4.2. Características físicas del área de estudio

### 4.2.1. Clima

La regulación del clima del PNCM está constituida por un sistema complejo integrado por su amplio gradiente altitudinal, exposición a la insolación, la influencia de masas de aire húmedo, diversidad de suelos y la humedad disponible en el suelo, identificándose cuatro tipos de clima: semicálido húmedo, templado subhúmedo, árido cálido y semiárido cálido (Uvalle, *et al.*, 2013; Sandoval-García *et al.* 2021), de las cuales, dos se encuentran presentes en las áreas de estudio; Semicálido húmedo (A)C(w<sub>1</sub>) y Templado subhúmedo C (w<sub>1</sub>):

**Tabla 1. Tipos de clima presente en el Área de estudio.**

Clave	Descripción
C(w <sub>1</sub> )	Corresponde al templado subhúmedo, con temperatura media anual de entre 12° y 18° C Régimen de lluvia corresponde al de escasa todo el año.
(A)C(w <sub>1</sub> )	Corresponde a semicálido con veranos cálidos, con temperaturas medias, anuales de entre 12° y 18° C, del mes más frío entre 3° y 18° C y del mes más cálido 18° C

### 4.2.2. Fisiografía

En general, el área de estudio se encuentra en un rango altitudinal entre los 600 hasta los 3,400 msnm, en el sistema montañoso de la Sierra Madre Oriental, dentro de la Subprovincia de la Gran Sierra Plegada, de una serie de sierras menores de estratos plegados, formando cañones, amplio valles y zonas de topografía accidentada, de fuertes ondulados paralelos, cuya variación de pendiente y orientación de laderas está fuertemente vinculada de manera importante a la distribución de la vegetación (CONANP, 2023; González-Saldívar *et al.*, 2013).

### 4.2.3. Edafología

El PNCM se localiza en un área con suelos presentes de tipo semiáridos, el cual se encuentran vinculados con vegetación desértica, donde la precipitación y el agua no alcanzan a infiltrarse a través del perfil de suelo (Rodríguez y Martínez, 2013). De acuerdo con la carta del Conjunto de Datos Vectoriales Edafológicos del INEGI, escala 1: 250, 000 Serie II, Continuo Nacional Monterrey, señala la distribución de suelos, clasificados

según la base de referencia mundial del recurso suelo de la FAO/UNESCO en 1970 (WRB por sus sigla en inglés), modificado por la Dirección General de Geografía, en el que se tienen identificados siete tipos de suelo en el área que abarca el PNCM (INEGI, 2007), entre ellas: Calcicso (CL), Fluvisol (F), Leptosol (LP), Luvisol (LV), Phaeozem (PH), Regosol (RG) y Vertisol (VR).

#### **4.2.4. Hidrología**

El PNCM se encuentra en la Región Hidrológica 24 Río Bravo-Conchos con un superficie de 1, 757 km<sup>2</sup>, en la cuenca Río Bravo-San Juan, siendo una de los más importantes de la región, además el Parque Nacional abarca cinco subcuencas; (Pérez Ortiz *et al.*, 2013; PCM, 2006), entre ellas las principales subcuencas Río Santa Catarina y Río Ramos, siendo las principales que drenan las aguas superficiales del PNCM (Pérez-Ortiz, 2013).

### **4.3. Características biológicas**

#### **4.3.1. Vegetación**

Existe una enorme riqueza florística en el PNCM, se han encontrado ocho principales tipos de bosque, clasificándose en dos grupos de comunidades vegetales (matorrales y bosques); bosque de pino-piñonero, bosque de pino, bosque mixto de pino-encino, bosque de encinos, bosque de encinos (chaparral), bosque de galería, vegetación riparia y pastizales; y matorrales; desértico rosetófilo, micrófilo y submontano (Saldívar-González *et al.*, 2013).

Dichas comunidades vegetales son característicos en las partes bajas y áridas del Parque Nacional, mientras que el chaparral se presentan en niveles altitudinales más altos, así como los bosques característicos por su distribución en rangos altitudinales por arriba de los 1000 msnm (zonas de clima templado) como influencia de mayor grado de humedad y precipitación (Alanís-Flores y Velasco-García, 2013)

Con datos descritos por Alanís-Flores y Velasco-Macías (2013); Saldívar-González *et al.* (2013), se elaboró una tabla que contiene los tipos de vegetación presentes en el PNCM, incluyendo las dos grandes comunidades de vegetación, los tipos y la vegetación asociada, como se muestra en la Tabla 2:

**Tabla 2. Tipos de vegetación en el Parque Nacional Cumbres de Monterrey**

Grupos	Tipos	Asociación	
Matorrales	Matorral desértico rosetófilo		
	Matorral desértico micrófilo		
	Matorral submontano		Matorral submontano inerme
			Matorral submontano subinerme
Matorral submontano espinoso			
Bosques	Bosque de pino-piñonero		
	Bosque de pino		
	Bosque mixto de pino-encino		
	Bosque de encinos-pino		
	Chaparral		
	Bosque de galería		
	Vegetación riparia		
	Pastizales		

En el área donde se encuentran dispersas las reforestaciones, se distribuyen específicamente tres de los ocho tipos de bosques presentes en el PNCM: Bosque de pino, Pino-encino y Encino-pino (Jiménez-Pérez *et al.*, 2021).

#### 4.3.2. Fauna

El Parque Nacional Cumbres de Monterrey es cuna de una gran diversidad de fauna y flora, teniendo como especies emblemáticas, por mencionar algunos, principalmente al Oso negro (*Ursus americanus*) en estatus de peligro de extinción por la NOM-059-SEMARNAT-2010, así como a la Cotorra serrana oriental (*Rhynchopsitta terrisi*) catalogada por la NOM-059-SEMARNAT-2010 y la UICN en un estatus de amenazada.

En términos generales, el PNCM alberga 19 de las 25 especies de anfibios reportadas para el estado de Nuevo León, así como 89 de las 111 especies de reptiles documentadas en la región, según Jiménez *et al.* (2021). Lo que respecta a los artrópodos, se cuenta con 271 especies de las 585 reportadas en el estado, además de 280 especies de aves de las 394 registradas y 71 especies de mamíferos de las 144 documentados en Nuevo León (PCM, 2006). En cuanto a peces, el PNCM cuenta con 28 especies de peces, repartidas en 11 familias y 21 géneros, donde nueve de ellas son consideradas exóticas, además que de acuerdo a su origen zoográfico 14 especies son neárticas y 12 neotropicales (Lozano-Vilano *et al.* 2013).

## **4.4.Trabajo de campo**

### **4.4.1. Reforestación**

Se establecieron dos reforestaciones, una en el año 2022 con una superficie de 332.14 hectáreas, en el transcurso de septiembre hasta noviembre y la segunda fue establecida en el año 2023 con 98.4 hectáreas de superficie, iniciando en agosto hasta el mes de septiembre. Para ambas reforestaciones, se emplearon tres especies de coníferas (*Pinus cembroides*, *Pinus greggii* y *Pinus pseudostrobus*).

Acorde al manual de CONAFOR (2011), se empleó para ambos años un muestreo sistemático, estableciendo un sitio de muestreo por hectárea a una distancia de 100 metros entre sitios, con una densidad de 1, 100 plantas/ha (con sitios circulares de 100 m<sup>2</sup>), lo que indica un número de 11 individuos por sitio aproximadamente, mientras que la distribución de las plantas, fueron colocadas con el sistema de cepa común empleando el método de tres bolillo con una distancia aproximada de 4 m X 3.5 m.

Por otro lado, las reforestaciones se establecieron en el transcurso de los meses de septiembre a noviembre con la finalidad de aprovechar las precipitaciones de manera que las plántulas tengan una mayor humedad y por ende una mayor adaptación y porcentaje de sobrevivencia.

### **4.4.2. Variables dasométricas**

Las variables evaluadas en campo son: altura total de la planta (cm) con un flexómetro (Métrica Truper 15388) y el diámetro de cuello de raíz (mm) con un vernier digital (Electronic Digital Calliper).

Para la sobrevivencia, se evaluaron el número de plantas vivas y muertas por sitio de muestreo de 100 m<sup>2</sup> (5.64 m de radio) con una cuerda compensada acorde al tamaño del sitio para la delimitación del mismo.

## 4.5. Trabajo de gabinete

### 4.5.1. Análisis estadístico

Recolectados los datos de campo, se concentraron en una base de Excel para luego depurarlo acorde al año y a la especie correspondiente, de manera que facilite realizar las pruebas estadísticas para llegar a los objetivos establecidos:

#### Sobrevivencia

Se determinó la sobrevivencia general con cada año de reforestación, así como para cada especie, empleando la fórmula establecida por CONAFOR (2011):

$$p = \frac{\sum_{i=1}^n ai}{\sum_{i=1}^n mi} \times 100$$

Donde:

$\sum_{i=1}^n$  = Sumatoria de los datos de acuerdo a la variable  $a$  o  $m$

$P$  = Proporción estimada de árboles vivos

$ai$  = Número de plantas vivas en el sitio de muestreo

$mi$  = Número de plantas vivas y muertas en el sitio de muestreo.

#### Pruebas de normalidad

Sánchez (2023) menciona que cuando se trata de un tamaño de muestra considerable (>50) se recomienda la prueba de normalidad de Kolmogorov-Smirnov (KS), siendo el caso para los datos del 2022 (332.14 has) y 2023 (98.4 has). Se consideró un grado de significancia de 0.05 ( $P=0.05$ ) para determinar si siguen una distribución normal en los datos de sobrevivencia.

Los datos de sobrevivencia de los grupos correspondientes a 2022 y 2023 fueron sometidos a la prueba de normalidad de kolmogorov-Smirnov (KS), la cual arrojó un valor inferior al supuesto de normalidad ( $P<0.05$ ), indicando que los datos no cumplen con una distribución normal. En consecuencia se utilizó la prueba de U de Man-Whitney para determinar si existían diferencias significativas entre los años evaluados. Dicho análisis se realizó con el Software RStudio Desktop.

#### **4.5.2. Variables climatológicas**

Para analizar la relación entre la sobrevivencia de las especies y los factores climáticos, se consideraron las variables de temperatura media mensual y precipitación.

Los datos climatológicos fueron obtenidos de dos fuentes principales; la estación climatológica ubicada en Laguna de Sánchez (clave 19033), la cual se seleccionó por ser la estación más cercana al área de reforestación y disponer de registros diarios de las variables climáticas requeridas. La segunda fuente provino del *Data Access Viewer* del proyecto *Prediction of Worldwide Energy Resources* (POWER) de la NASA, específicamente en la categoría de Agroclimatología. Este visor permite acceder a datos climatológicos en puntos geográficos específicos, por lo que se atribuyeron puntos de recolección a lo largo de las áreas de reforestación para obtener datos representativos, donde posteriormente se obtuvo el promedio de estos datos distribuidos para ofrecer una visión más completa y realizar una comparación del comportamiento anual de las variables climáticas entre ambas fuentes de datos, en el periodo en que se implementaron las reforestaciones.

## V. RESULTADOS

### 5.1. Reforestación 2022

#### 5.1.1. Características dasométricas de las especies

La evaluación de la reforestación correspondiente al año 2022 realizada cinco meses después de su establecimiento, muestra que *Pinus greggii* presenta una altura de 36.9 cm y un diámetro de 4.8 mm, valores que superan notablemente a los de las otras especies. En contraste, *Pinus cembroides* y *Pinus pseudostrobus* muestran alturas de 20.35 cm y 26.5 cm y diámetros de 4.2 y 4.4 cm.

Como se muestra en la siguiente tabla, se presentan los datos de altura y diámetro para cada una de las especies evaluadas (Tabla 2):

Tabla 3. Promedios de altura y diámetro por especie (2022)

Especie	Altura (cm)	Diámetro (mm)
<i>Pinus cembroides</i>	20.4	4.2
<i>Pinus greggii</i>	36.9	4.8
<i>Pinus pseudostrobus</i>	26.5	4.4

Dado que el periodo de evaluación es temprano en el proceso de reforestación, estos datos proporcionan una base para monitorear el crecimiento futuro y ajustar las prácticas de manejo según sea necesario.

#### 5.1.2. Supervivencia

Los resultados obtenidos para el año 2022 muestran variaciones significativas en la tasa de supervivencia de las especies evaluadas. La supervivencia general fue de 41.5 %, siendo *Pinus cembroides* la especie con el valor más alto, alcanzando un 27.1 %, mostrando mayor adaptación en comparación con las otras especies. A su vez *Pinus pseudostrobus* tuvo una supervivencia del 13.3 %, mientras que *Pinus greggii* presentó la tasa más baja, con un 1.2 %, como se muestra en la Tabla 4:

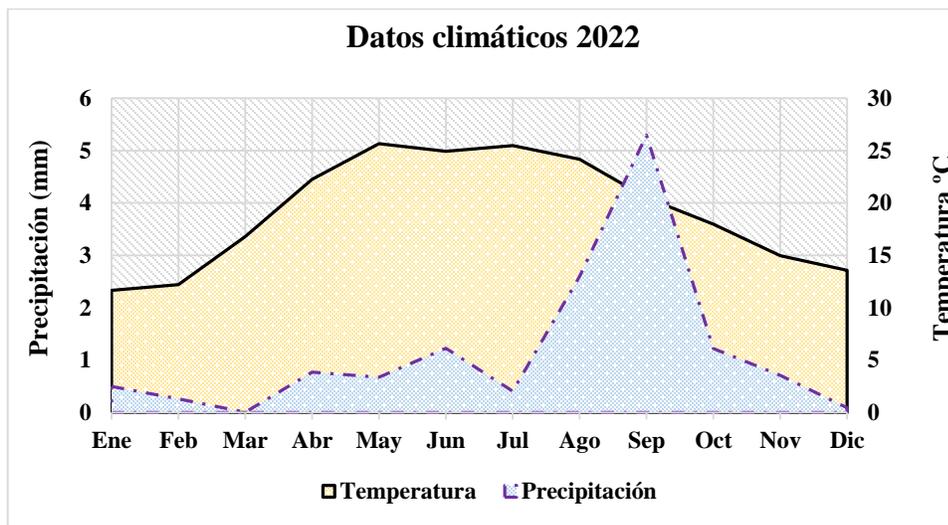
Tabla 4. Supervivencia por especie en el 2022.

Año	<i>Pinus. cembroides</i>	<i>Pinus greggii</i>	<i>Pinus pseudostrobus</i>
2022	27.1%	1.2%	13.3%

### 5.1.3. Factores climáticos (temperatura y precipitación).

El diagrama ombrotermico (gráfica 2) representa las condiciones climáticas del año 2022 en relación con el área destinada a la reforestación, con un enfoque en particular en los dos factores climáticos fundamentales: temperatura y precipitación.

A partir de los datos observados, se hace evidente que la temperatura inicia a descender notablemente a partir del mes de agosto, mientras que la precipitación alcanza su punto más alto entre agosto y septiembre, indicando un periodo de condiciones ambientales favorables para el crecimiento de las plantas. No obstante, es importante destacar que las precipitaciones se redujeron considerablemente durante los meses de octubre y noviembre, que corresponden al periodo restante de la reforestación.



Gráfica 1. Factores climáticos del año 2022 (temperatura y precipitación)

La reforestación de este año se llevó a cabo desde el mes de septiembre hasta el mes de noviembre, este periodo se caracterizó por una disminución progresiva en la precipitación, que alcanzó niveles particularmente bajos durante los meses de octubre y noviembre. Al analizar y comparar los resultados respecto a las condiciones, se observó que la tasa de sobrevivencia de las plantas fueron bajas.

## 5.2. Reforestación 2023

### 5.2.1. Características dasométricas de las especies

La evaluación de la reforestación correspondiente al año 2023, realizada siete meses después de su establecimiento, donde *Pinus greggii* presenta una altura de 24.8 cm y un diámetro de 6.3 mm, resultando ser mayor en comparación con los valores de *Pinus cembroides* y *Pinus pseudostrobus*, con alturas de 11.9 cm y 13.2 cm y diámetros de 3.3 y 3.6 cm, casi similares.

En la tabla 5 se presentan los datos de altura y diámetro para cada una de las especies (Tabla 3):

**Tabla 5. Promedios de altura y diámetro por especie (2023).**

<b>Especie</b>	<b>Altura (cm)</b>	<b>Diámetro (mm)</b>
<i>Pinus cembroides</i>	11.9	3.3
<i>Pinus greggii</i>	24.8	6.3
<i>Pinus pseudostrobus</i>	13.2	3.6

### 5.2.2. Supervivencia

En lo que respecta del año 2023, los resultados de supervivencia obtenidos muestran variaciones significativas en las tasas de éxito de las especies evaluadas. La supervivencia general fue de 61.7 %, destacando *Pinus cembroides* con el porcentaje más alto, 44.4 %, en comparación con las otras especies, *Pinus pseudostrobus* presentó una supervivencia de 15.9 %, mientras que *Pinus greggii* obtuvo la tasa más baja, con solo 1.3 %, como se aprecia en la tabla 6:

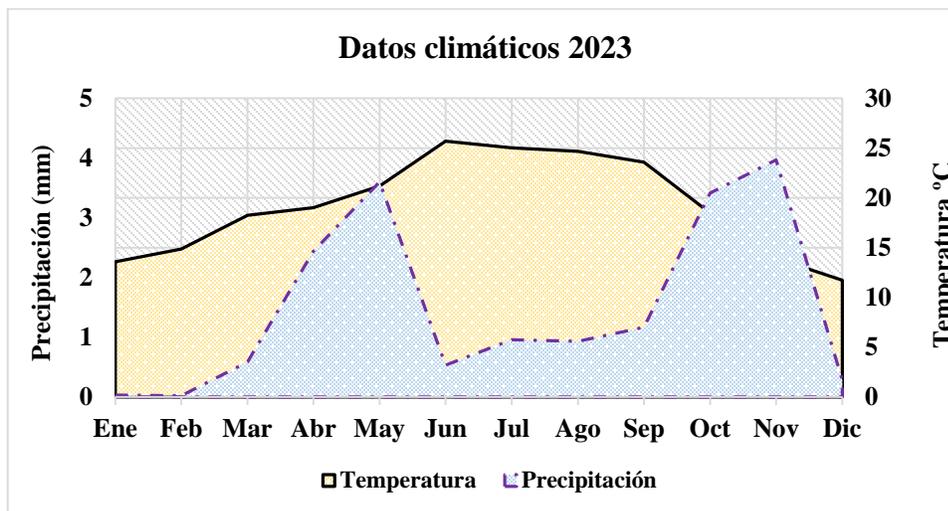
**Tabla 6. Supervivencia por especie en 2023**

<b>Año</b>	<b><i>Pinus cembroides</i></b>	<b><i>Pinus greggii</i></b>	<b><i>Pinus pseudostrobus</i></b>
<b>2023</b>	44.4	1.3	15.9

### 5.2.3. Factores climáticos (temperatura y precipitación)

En relación al año 2023, se observó que a partir del mes de agosto, se inició un incremento en los niveles de precipitación, que se mantuvieron en condiciones elevadas, alcanzando su punto máximo en noviembre, momento a partir del cual comenzó a descender gradualmente ese mismo mes.

En general, la precipitación se mantuvo en niveles favorables durante casi tres meses, como se ilustra en la gráfica 3:



Gráfica 2. Factores climáticos del año 2023 (temperatura y precipitación)

El comportamiento observado en la precipitación durante este periodo fue significativo, dado que el aumento prolongado de las lluvias resultó beneficioso para la sobrevivencia de las plantas. En este año, las fechas establecidas para la reforestación abarcaron desde el 25 de agosto hasta el 29 de septiembre, un intervalo que se consideró propicio para facilitar la adaptación de las plantas en las temporadas de lluvias.

Al comparar los resultados obtenidos, el aumento prolongado de la precipitación tuvo un impacto positivo en la adaptación de las plantas, reflejándose en una tasa de sobrevivencia del 61.7 %.

### 5.3. Comparación de resultados obtenidos de los años 2022 y 2023

#### 5.3.1. Variables dasométricas

En la tabla 6, se observa que en ambas reforestaciones, *Pinus greggii* presenta la mayor altura (36.9 cm y 24.8 cm) y diámetro (4.8 mm y 6.3 mm), mientras que *Pinus pseudostrobus* y *Pinus cembroides* tuvieron valores similares en altura y en diámetro, aunque *Pinus cembroides* presentó los valores más bajos.

**Tabla 7. Comparación de promedios de las variables altura y diámetro por especie 2022 y 2023**

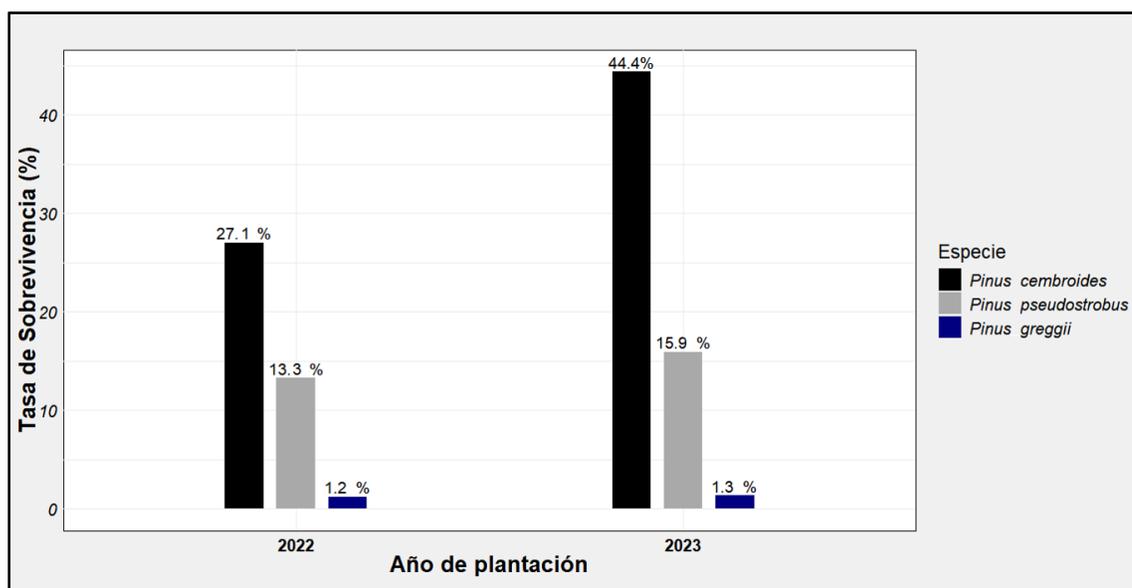
Especie	2022		2023	
	Altura (cm)	Diámetro (mm)	Altura (cm)	Diámetro (mm)
<i>P. cembroides</i>	20.35	4.2	11.9	3.3
<i>P. greggii</i>	36.9	4.8	24.8	6.3
<i>P. pseudostrobus</i>	26.5	4.4	13.2	3.6

En general, las variables de altura y diámetro de cada especie resultaron tener valores menores en la reforestación establecida en 2023 en comparación con los valores observados en 2022.

### 5.3.2. Supervivencia

La tasa de supervivencia registrada para cada reforestación fue del 41.5 % en 2022 y del 61.7 % en 2023. Este último año se distingue por tener la tasa más alta, con una diferencia significativa ( $p = 0.0001$ ) en relación con lo observado en 2022.

Considerando la naturaleza de la reforestación, los resultados obtenidos en 2023 indican una tasa de supervivencia que se clasifica como favorable. Este porcentaje se justifica con lo establecido en el contexto de plantaciones forestales destinadas a la restauración y protección de ecosistemas.

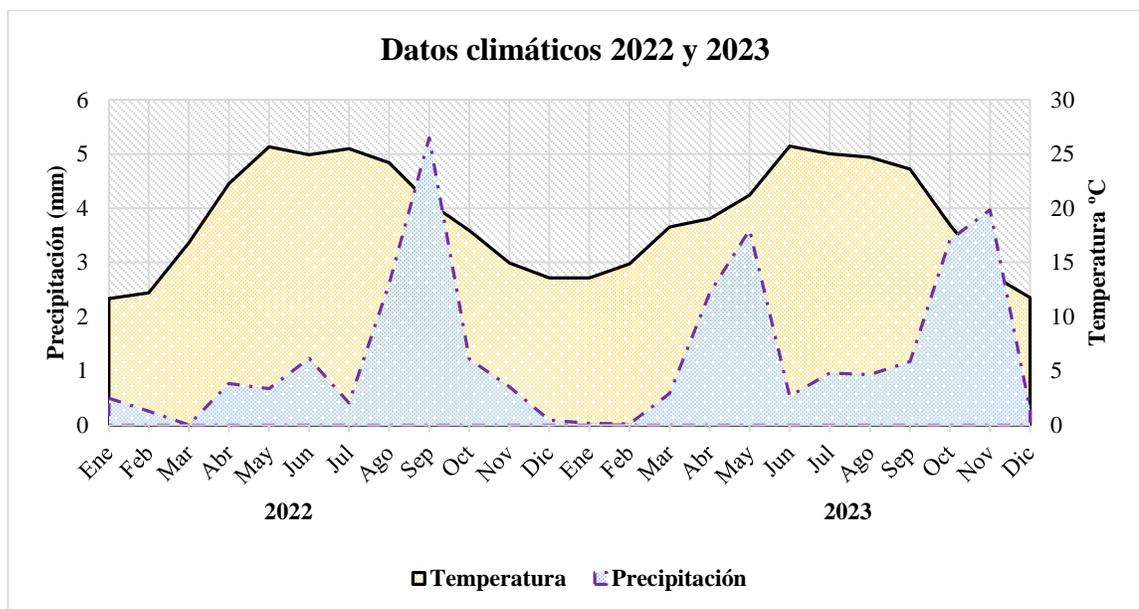


**Gráfica 3. Supervivencia de las especies en los periodos de evaluación**

En relación con las especies utilizadas, se observó que *Pinus cembroides* presentó la mayor tasa de sobrevivencia en ambas reforestaciones (27.03 % en 2022 y un 44.4 % en 2023), seguido por *Pinus pseudostrabus* y *Pinus greggii* con la tasa más baja (gráfica 3).

### 5.3.3. Comportamiento de temperatura y precipitación

En el análisis presentado en el siguiente diagrama ombrotérmico (gráfica 4), se observa que la precipitación durante el año 2022 fue considerablemente limitada, con un aumento notorio únicamente entre el mes de agosto y septiembre, lo cual es consistente con la clasificación de dicho año como seco. Esta distribución irregular de las lluvias contrasta notablemente con los patrones observados en 2023. En este último año, aunque las temperaturas se mantuvieron en niveles similares a los de 2022, los registros de precipitación muestran un incremento prolongado, que abarca principalmente los meses de marzo a mayo y adicionalmente, se observaron aumentos significativos en los niveles de precipitación entre finales de agosto hasta las últimas semanas de noviembre, siendo este último período cuando se alcanzó el punto máximo de precipitación.



**Gráfica 4. Comparación de factores climáticos de temperatura y precipitación para el 2022 y 2023**

Esta variabilidad entre ambos años destaca la naturaleza cambiante de los patrones meteorológicos y su influencia en las condiciones presentes en el área de estudio.

## VI. DISCUSIÓN

### 6.1. Variables dasométricas

La calidad de la planta es un factor determinante para el éxito de una plantación. Según la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR, 2010), el diámetro mínimo de las especies utilizadas en el presente estudio debe ser de 4 mm y la altura debe oscilar entre 15 y 25 cm al momento de la salida al campo. En el año 2022, las especies reforestadas cumplieron con estos criterios; sin embargo, en 2023 solo *Pinus greggii* mantuvo las dimensiones adecuadas, mientras que *Pinus cembroides* y *Pinus pseudostrobus* se encontraron por debajo de los valores estipulados (Tabla 7).

Zhichao *et al.* (2023) también señalan que las plantas con mayor altura y diámetro suelen poseer mayor capacidad de resistencia en entornos extremos. No obstante, los resultados de sobrevivencia obtenidos en el presente estudio, se observa que la especie más robusta no siempre es la que presenta una mejor sobrevivencia en todas las condiciones. En este caso, los resultados indican que *Pinus cembroides* presentó la mayor tasa de sobrevivencia, a pesar de tener el menor tamaño entre las especies analizadas. Este hallazgo es particularmente evidente en la reforestación del 2023, en la que dicha especie mostró la mayor sobrevivencia a pesar de no cumplir con los requisitos de calidad establecidos.

Por otro lado, Rueda Sánchez *et al.* (2012), indican que las plantas jóvenes de mayor altura suelen presentar un desequilibrio en relación con su diámetro, lo que incrementa su vulnerabilidad frente a daños ocasionados por el viento. Este planteamiento concuerda con lo señalado por Vicente-Arbona *et al.* (2019) donde enfatizan que las plantas con un diámetro entre 4 y 6 mm y una altura superior a 30 cm, deberían establecerse en sitios con suficiente disponibilidad de agua y sin exposición de vientos extremos, ya que a mayor altura pierden humedad, lo que impactaría de manera negativa en la sobrevivencia incluso si poseen características morfológicas de calidad. Esta condición representa la principal causa por la cual *Pinus greggii*, a pesar de ser la especie más robusta y destacar notablemente en altura, presentó la tasa de sobrevivencia más baja. En contraste, *Pinus cembroides*, con los valores dasométricas más reducidos, obtuvo la mayor tasa de

sobrevivencia, sin descartar a *Pinus pseudostrobus* con las características de robustez y de sobrevivencia intermedias.

Estos resultados son consistentes con lo observado por Domínguez-Caballero *et al.* (2001), emplean las mismas especies y registraron que *Pinus cembroides* presentó menor altura y diámetro, pero alcanzó la mayor tasa de sobrevivencia, mientras que la especie más robusta, *Pinus greggii*, mostró una menor tasa de sobrevivencia. De manera similar, Gómez-Romero *et al.* (2012), reportan hallazgos similares al analizar las tres especies empleadas en el presente estudio.

## 6.2. Sobrevivencia

La tasa de sobrevivencia obtenida en la investigación muestra que *Pinus cembroides* presentó el porcentaje más alto, en contraste con *Pinus greggii* y *Pinus pseudostrobus*, lo cual coincide con estudios realizadas por Gómez-Romero *et al.* (2012) y Rodríguez-Caballero *et al.* (2001), observando una tendencia similar, reportando que *Pinus cembroides* presentó una sobrevivencia significativamente mayor en comparación con las otras especies evaluadas.

En relación a *Pinus greggii*, Rodríguez y colaboradores (2013), evaluaron nueve procedencias de *Pinus greggii* en Galeana, N.L., y observaron una alta tasa de sobrevivencia de esta especie, consistente con los autores previos respecto a la especie, quienes en conjunto, observaron una sobrevivencia alta. Sin embargo, en el presente estudio, *Pinus greggii* presentó la tasa más baja de sobrevivencia, lo que representa una discrepancia con los resultados previos, donde la tasa de sobrevivencia superaba el 60%.

De igual manera, García (2020) y Mata-Balderas *et al.* (2010), observaron una alta tasa de sobrevivencia para *Pinus cembroides*, reforzando la tendencia en esta investigación. Por otra parte, Barrera-Ramírez *et al.* (2018) documentaron que *Pinus pseudostrobus* alcanzó una alta sobrevivencia en una comunidad indígena del estado de Michoacán; cuyo resultado es similar a lo reportado por Muñoz-Flores *et al.* (2011) quienes observaron que la alta sobrevivencia de esta especie en comparación con *Pinus greggii*, tenía una influencia por la fecha de plantación, la preparación del terreno y las condiciones ambientales específicas de sitio.

En contraste García-Peña (2014), reportó un porcentaje bajo de sobrevivencia para *Pinus pseudostrabus* (19 %) en una evaluación de cinco especies de coníferas en la Sierra de Arteaga, Coahuila. Dicho resultado fue similar a los obtenidos en este estudio, en el que *Pinus pseudostrabus* mostró una sobrevivencia de 13.3 % en 2022 y 15.9 % en 2023. Tanto esta especie como *Pinus greggii* presentaron tasas de sobrevivencia relativamente baja en ambos años.

### **6.3. Factores climáticos y fechas de reforestación**

La fecha de plantación es considerada un factor importante en la tasa de sobrevivencia de una plantación durante su primer año, así como las condiciones climáticas posteriores al establecimiento, particularmente la presencia de precipitaciones que garanticen un adecuado arraigo inicial de las plantas (Navarro y Palacios, 2004; Sigala-Rodríguez *et al.*, 2012). Por otro lado, Royo-Moraga *et al.* (2000), sugieren que la fecha de plantación es un factor influyente en el desarrollo de las plantas.

Sandoval-García y colaboradores (2022) señalan que la exposición de las plantas a condiciones de estrés hídrico tienen una influencia significativa en la tasa de mortalidad, lo cual es otra de las explicaciones de la baja sobrevivencia observada en el 2022. A pesar de que las fechas de plantación para dicho año coincidieron con los meses de precipitación, este periodo experimentó una disminución notable, lo que limitó la cantidad de agua disponible, teniendo como consecuencia, que la adaptación de las plantas tras su establecimiento se viera comprometida.

La baja sobrevivencia observada en 2022 está relacionada con el hecho de que gran parte del año, especialmente después del establecimiento de la reforestación, transcurrió en condición de sequía, lo cual coincide con los hallazgos de Sigala-Rodríguez *et al.* (2015), cuyo análisis de sobrevivencia, observaron un aumento en la mortalidad durante los meses de sequía posterior al establecimiento de la plantación, alcanzando a estabilizarse una vez iniciada la época de precipitación.

En contraste, los resultados observados en 2023 reflejaron una tasa de sobrevivencia más alta, atribuible a las condiciones climáticas favorables (temperatura y precipitación) durante y después del establecimiento de la reforestación. Esto respalda lo señalado por

Navarro *et al.* (2006), quienes enfatizan que la sobrevivencia de las plantas dependen en gran medida de la evolución de las condiciones climáticas posteriores a la plantación y durante todo el proceso de establecimiento, especialmente de la presencia de precipitación.

Lo anterior, resulta coherente con los resultados de Acosta-Rodríguez (2021), quien atribuye la alta sobrevivencia a factores como el establecimiento de la plantación en temporadas de lluvias, garantizando el recurso hídrico en el proceso de adaptación de las plantas.

## VII. CONCLUSIONES

Se acepta la hipótesis planteada, dado que los resultados del estudio evidencian diferencias significativas entre los años de reforestación. Además, se observó que los factores climáticos desempeñaron un papel determinante en la tasa de sobrevivencia de las reforestaciones.

Los resultados obtenidos son coherentes con investigaciones similares, lo que refuerza la validez de los hallazgos, indicando que *Pinus cembroides* es una opción efectiva para la restauración de áreas degradadas.

El presente trabajo brinda información importante sobre la sobrevivencia que guarda un proyecto de reforestación a cinco meses de establecidos en un área afectado por incendios forestales, como punto de partida para futuras investigaciones.

En el 2023, las variables de altura y diámetro por especie fueron inferiores en comparación al 2022, sin embargo, tuvieron mayor sobrevivencia, indicando que se obtiene mayor probabilidad de sobrevivencia cuando la reforestación se establece en época de lluvias.

## **VIII. RECOMENDACIONES**

En proyectos de reforestación y conservación es fundamental considerar la precipitación y temperatura como factores determinantes, especialmente ante los constantes cambios asociados al llamado “cambio climático global”, ya que estos parámetros se volverán cada vez más variables, lo que plantea la necesidad de integrar estos elementos en las estrategias de planificación futura.

Es importante tener en cuenta que el éxito de una plantación forestal en sus primeros años de establecimiento depende de numerosos factores, tanto climáticos como técnicos, particularmente los factores climáticos que implican especial importancia debido a su naturaleza impredecible, lo que resalta la relevancia de seleccionar adecuadamente la fecha de plantación.

## IX. BIBLIOGRAFÍA

- Academia Lab. (2024). Conífera. *Enciclopedia*. Revisado el 7 de octubre del 2024. <https://academia-lab.com/enciclopedia/conifera/>
- Alanís, Glafiro J., Velazco, Carlos G., Foroughbakhch, Rahim, Valdez, Vicente y Alvarado Marco A. 2004. Diversidad florística de Nuevo León: Especies en categorías en riesgo. CIENCIAS UANL/Vol. VII, No 2. 10 p.
- Alanís-Flores, G. y C. Velazco-Macías. 2013. Tipos de Vegetación, en: Cantú-Ayala et al. (eds.), Historia Natural del Parque Nacional Cumbres de Monterrey, México. UANL-CONANP. México. Pp. 117-126.
- Badii, M.H., Guillen, A., Rodríguez, C.E., Lugo, O., Aguilar, J. y Acuña, A. 2015. Pérdida de Biodiversidad. Causas y Efectos. UANL. International Journal of Goog Conscience. 10(2)156-174. 19 p.
- Barrera-Ramírez, Rubén; López-Aguillón, Ricardo y Muñoz-Flores Hipólito J. 2018. Supervivencia y crecimiento de *Pinus pseudostrobus* Lindl., y *Pinus montezumae* Lamb. En diferentes fechas de plantación. Revista Mexicana de Ciencias Forestales. Vol. 9 (50). FCF. UANL. 19 p.
- Bautista-Díaz, M. Leticia; Victoria-Rodríguez, Eduardo; Vargas-Estrella, L. Berenice y Hernández-Chamosa, Celeste. 2020. Pruebas estadísticas paramétricas y no paramétricas: su clasificación, objetivos y características. UAEH. Salud y Educación ISSN: 2007-4573. Pp. 4.
- Cambrón Sandoval, Víctor H.; Suzán Azpiri, Humberto; Vargas Hernández, J. Jesús; Sánchez Vargas, Nahum M.; Sáenz-Romero, Cuauhtémoc ESTRATEGIAS DE CRECIMIENTO Y DISTRIBUCIÓN DE BIOMASA EN *Pinus pseudostrobus* BAJO DIFERENTES CONDICIONES DE COMPETENCIA Revista Fitotecnia Mexicana, vol. 36, núm. 1, 2013, pp. 71-79 Sociedad Mexicana de Fitogenética, A.C. Chapingo, México.
- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP). 2017. Programa de Adaptación al Cambio Climático en Áreas Naturales Protegidas. Disponible en:

<https://www.gob.mx/conanp/documentos/programas-de-adaptacion-al-cambio-climatico-en-areas-naturales-protegidas> (agosto de 2017).

Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP). 2023. Agua para todos, Parque Nacional Cumbres de Monterrey. Disponible en: <https://conanp.gob.mx/conanp/dominios/cumbres/cumbres.php>

Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). (2011). Programa de restauración forestal de cuencas hidrográficas prioritarias. Gerencia de suelos. 85 p. Disponible en: <http://www.conafor.gob.mx>

Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). 2010. Prácticas de reforestación. Manual básico. SEMARNAT. Primera edición. Zapopan, Jalisco, México. Pp 66. Disponible en: [https://www.conafor.gob.mx/BIBLIOTECA/MANUAL\\_PRACTICAS\\_DE\\_REFORESTACION.PDF](https://www.conafor.gob.mx/BIBLIOTECA/MANUAL_PRACTICAS_DE_REFORESTACION.PDF)

Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). 2014. Guía técnica para la planeación de la reforestación adaptada al cambio climático. Primera edición. México. 74 p.

Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). 2021. Programa de manejo del fuego 2020-2024. Coordinación General de Conservación y Restauración. Gerencia de Manejo del Fuego. 101 p.

Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). *Pinus pseudostrobus* Lindl. Var. *Pseudostrobus*. SIRE-Paquetes Tecnológicos. CONAFOR-CONABIO. México. 7 p. Disponible en: <http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/13/981Pinus%20pseudostrobus.pdf>

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). 2024. *Pinus cembroides*. Disponible en: [http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/info\\_especies/arboles/doctos/54-pinac11m.pdf](http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/info_especies/arboles/doctos/54-pinac11m.pdf)

- CONABIO. 2022. Pino Prieto (*Pinus greggii*). Disponible en: <https://enciclovida.mx/especies/155267-pinus-pinus-greggii>
- Constante-García, Vicenta, Villanueva-Díaz, José, Cerano-Paredes, Julián, Cornejo-Oviedo, Eladio H. y Valencia-Manzo, Salvador. 2008. Dendrocronología de *Pinus cembroides* Zucc. y reconstrucción de precipitación estacional para el sureste de Coahuila. Rev. Ciencias Forestales en México. Vol. 34. Núm. 106. México. 16 p.
- Domínguez-Caballero, Pedro Antonio; Návar-Cháidez, José de Jesús; Loera-Ortiz, José Antonio. 2001. Comparación del rendimiento de pinos en la reforestación de sitios marginales en Nuevo León. Madera y Bosques, vol. 7, núm. 1, primavera, pp. 27-35. Instituto de Ecología, A. C., Xalapa, México.
- Estrada-Castillón, Andrés E., Villareal-Quintanilla, José A., Salinas-Rodríguez, María M., Cantú-Ayala, César M., González-Rodríguez, Humberto y Jiménez-Pérez, Javier. 2014. Coníferas de Nuevo León, México. Facultad de Ciencias Forestales. UANL. NL, México. 145 p.
- Favela Lara, S., 1999. Taxonomía de los pinos del noreste de México. Universidad Autónoma de Nuevo León. Facultad de Ciencias Biológicas. Informe final SNIB-CONABIO proyecto No. H038. México D. F.
- García C, J. S. 2019. Guía de elaboración de proyectos de restauración forestal para compensación ambiental por el cambio de uso de suelo en terrenos forestales. Colegio de Postgraduados. Tesina de maestría. 118 p.
- García, Jaime F. 2020. Patrones de supervivencia de *Pinus cembroides* Zucc. En una comunidad montañosa del NE de México. Ciencia UANL. DOI: 10.29105/cienciauanl23.99-1. 9 p.
- García-Campusano, Florencia; Gómez Cárdenas, Martín y Sánchez-Vargas. Nahum M. Mejoramiento Genético de *Pinus pseudostrobus*: Avances, Retos y Perspectivas. CONAFOR. Primera edición. ISBN: 978-607-8383-57-3. Zapopan, Jalisco, México. 193 pp.

- García-Peña, José. 2014. Adaptación de cinco especies de coníferas en la Sierra de Arteaga, Coahuila. Tesis de Licenciatura. Departamento Forestal. UAAAN. Coahuila, México. 59 p.
- García-Valdés, R. y Morales-Castilla, I. 2016. Efectos del cambio climático en los ecosistemas forestales: integrando inventarios y modelos. Ecosistemas, vol. 25, núm. 3, septiembre-diciembre, pp. 51-59 Asociación Española de Ecología Terrestre Alicante, España.
- García-Velasco, José Trinidad. 2017. Supervivencia y crecimiento en una plantación de *Pinus greggii* Engelm. Establecida con retenedores de humedad en Saltillo, Coahuila. México. Tesis de Licenciatura. Departamento Forestal. UAAAN. 49 p.
- Gernandt, David S. y Pérez de la Rosa, Jorge A. 2014. Biodiversidad de Pinophyta (coníferas) en México. Revista mexicana de Biodiversidad. Supl. 85: S126-S133. 9 p.
- Gómez-Guerrero, Armando, Correa-Díaz, Arian y Castruista-Esparza, Luis U. 2021. CAMBIO CLIMÁTICO Y DINÁMICA DE LOS ECOSISTEMAS FORESTALES. Rev. Fitotec. Mex. Vol. 44 (4): 673 – 682.
- Gómez-Romero, Mariela; Doto-Correa, José C.; Blanco-García, José A.; Sáenz-Romero, Cuauhtémoc; Villegas, Javier; Linding-Cisneros, Roberto. ESTUDIOS DE ESPECIES DE PINO PARA RESTAURACIÓN DE SITIOS DEGRADADOS. Agrociencia, vol. 46, núm. 8, noviembre-diciembre, 2012, pp. 795-807. Colegio de Postgraduados. Texcoco, México.
- González-Martínez, Adrián. 2021. Biodiversidad de Coníferas del Estado de Nuevo León, México. Article in Biología y Sociedad. UANL. Nuevo León, México. 14 p.
- González-Saldivar, F., J. Uvalle-Sauceda, J. Avendaño y A. Niño-Ramírez, 2013. Mamíferos, en: Cantú-Ayala *et al.* (eds.), Historia Natural del Parque Nacional Cumbres de Monterrey, México. UANL-CONANP. México. Pp. 237-251.
- Hernández Carmona, Othón; Ramírez García, Elba Olivia; Mendizábal Hernández, Lilia. Variación en semillas de cinco procedencias de *Pinus pseudostrobus* Lindl.

- Foresta Veracruzana, vol. 5, núm. 2, 2003, pp. 23-28. Recursos Genéticos Forestales. Xalapa, México.
- Hernández-Pérez, Carmelo, Vargas-Hernández, Jesús, Ramírez-Herrera, Carlos y Muñoz-Orozco, Abel. 2001. Variación Geográfica en la respuesta a la sequía en plántulas de *Pinus greggii* Engelm. Rev. Ciencias Forestales en México. Vol. 26. Núm. 89. México. 20 p.
- Jiménez, Javier; Cuéllar, Gerardo; González, Marco; Pando, Marisela y Cotera, Mauricio. 2021. Diagnóstico y clasificación de la severidad del fuego en áreas prioritarias del arque Nacional Cumbres de Monterrey. Facultad de Ciencias Forestales. UANL. Linares, Nuevo León, México. 78 p.
- López-Sandoval, José Antonio; López-Mata, Lauro; Cruz-Cárdenas, Gustavo; Vibrans, Heike; Vargas, Ofelia y Martínez, Mahinda. Modelado de los factores ambientales que determinan la distribución de especies sinantrópicas de *Physali*. Colegio de Postgraduados. Ecología. *Botanical. Sciences* 93(4): 755-764. Pp 10.
- Lozano-Vilano, M., M. García-Ramírez y M. Espinoza-Narváez. 2013. Peces, en Cantú-Ayala *et al.* (eds.), Historia Natural del Parque Nacional Cumbres de Monterrey, México. UANL-CONANP. México. Pp. 195-206.
- Manzanilla-Quiñones, Ulises, Aguirre-Calderón, Óscar A. y Jiménez-Pérez, Javier. 2018. ¿Qué es una conífera y cuantas especies existen en México?. Centro de Investigación Científica de Yucatán (CICY). FCF. UANL. México. 8 p.
- Mata-Balderas, José M.; Treviño-Garza, Eduardo; Jiménez-Pérez, Javier; Aguirre-Calderón, Oscar; Alanís-Rodríguez, Eduardo & Salinas-Castillo, Wilber E. Evaluación de la siembra directa con especies de pino en la restauración de un ecosistema semiárido-templado. Ciencia UANL, Vol. XIII, Núm. 1, Enero-marzo, 2010, pp. 72-77. Universidad Autónoma de Nuevo León, México.
- Mataix-Solera, Jorge y Guerrero, César. 2007. Efectos de los incendios forestales en las propiedades edáficas. Grupo de Edafología Ambiental (GEA). Universidad Miguel Hernández. 36 p.

- Moore, Beverly y Allard, Gillian. 2008. Los impactos del cambio climático en la sanidad forestal. Departamento Forestal. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. 98 p.
- Muñoz-Flores, H. José; Orozco-Gutiérrez, Gabriela; Coria-Ávalos, Víctor M.; García-Sánchez, J. Jesús; Muñoz-Vega, Yadira; Cruz, Gabriel Salvador. Evaluación de *Pinus pseudostrobus* Lindl. y *Pinus greggii* Engelm. con dos densidades de plantación en Michoacán, México. 2011. Foresta Veracruzana, vol. 13, núm. 1, marzo-agosto, 2011, pp 29-35, Recursos Genéticos Forestales, Xalapa, México.
- Navarro, R. M.; Del Campo, Antonio y Cortina, Jordi. 2006. Factores que afectan al éxito de una repoblación y su relación con la calidad de la planta. Cap. 2. In *Calidad de planta forestal para la restauración en ambientes mediterráneos. Estado actual de conocimientos*. Cortina, J., Peñuelas, J. L., Puértolas, J., Vilagrosa, A., and Savé, R. (Coord.). Organismo Autónomo Parques Nacionales. Ministerios de Medio Ambiente. Madrid. 29 p.
- NAVARRO, R.M.; PALACIOS, G. 2004. Efecto de la calidad de planta, el procedimiento de preparación y la fecha de plantación en la supervivencia de una repoblación de *Pinus pinea* L. En: Actas de la III Reunión sobre Repoblaciones Forestales. Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales, 17. CEMACAM. 17 - 19 de Noviembre 2003. Sociedad Española de Ciencias Forestales. Murcia. pp.: 199-204.
- Padilla V. R. N. 2017. Evaluación financiera de una plantación de árboles de navidad en Oaxaca. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, Edo. de México. 174 p.
- Palacios-Rodríguez, Guillermo y Navarro-Cerrillo, Rafael M. 2004. Efecto de la calidad de planta, el procedimiento de preparación y fecha de plantación en supervivencia de una repoblación de *Pinus pinea* L. ETS. Ingeniero Agrónomos y de Montes. Córdoba. Pp 7.

- Pérez-Ortiz, J. 2013. Hidrología y Geohidrología, en: Cantú-Ayala et al. (eds.), Historia Natural del Parque Nacional Cumbres de Monterrey, México. UANL-CONANP. México. Pp. 89-98.
- Pompa-García, Marín y Yarena-Yamallel, José I. 2014. Concentración de carbono en *Pinus cembroides* Zucc: Fuente potencial de mitigación del calentamiento global. Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente (RCHSCFA). MÉXICO.
- Programa de Conservación y Manejo (PCM). 2006. Parque Nacional Cumbres de Monterrey. 179 p.
- Ramírez-Herrera, C., Vargas-Hernández, J. J. y López-Upton, J. 2005. Distribución y conservación de las poblaciones naturales de *Pinus greggii*. Programa Forestal, Colegio de Postgraduados. Acta Botánica Mexicana 72: 1-16 p.
- Rodríguez y Rodríguez, G. y J. Martínez-Pineda. 2013. Suelos, en: Cantú-Ayala et al. (eds.), Historia Natural del Parque Nacional Cumbres de Monterrey, México. UANL-CONANP. México. Pp. 79-87.
- Rodríguez-Laguna, Rodrigo; Razo-Zárate, Ramón; Valencia-Manso, Salvador y Meza-Rangel, Joel. 2013. Características dasométricas de *Pinus greggii* Engelm. ex Parl. Var. *greggii*. De nueve procedencias en Galeana, Nuevo León. Rev. Méx. Cien. For. Vol. 4 Núm. 18. Pp 9.
- Rodríguez-Moreno, Víctor M., Ruíz-Corral, J. Ariel, Ramírez-Ojeda, Gabriela y Pérez Miranda, Ramiro. 2016. Efecto geográfico de la cubierta del suelo y el mes calendario, en la meteorología superficial e insolación de bosques de coníferas e México. Madera y Bosque. Vol. 22, núm. 2:53-66. 14 p.
- Royo-Moraga, A.; Gil-Sánchez, L. y Pardos-Carrión, J.A. 2000. Efecto de la fecha de plantación sobre la supervivencia y crecimiento del *Pino carrasco*. Cuad. Soc. Esp. Cien. For. 10: 57-62. Madrid, España. 6 p.
- Rueda-Sánchez, Agustín; Benavides-Solorio, Juan de Dios; Prieto-Ruiz, J. Ángel; Sáenz-Reyes, J. Trinidad; Orozco-Gutiérrez, Gabriela y Molina-Castañeda, Alicia. 2012.

- Calidad de planta producida en los viveros forestales de Jalisco. Rev. Mex. Cien. For. Vol. 3 Núm. 14. Pp. 14.
- Rzedowski J. 2006. Vegetación de México. Capítulo 16. Bosque de Quercus. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México.
- Rzedowski, Jerzy, 1978. *Vegetación de México*. 1ra Edición digital, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México, 504 pp.
- Sánchez-González, Arturo. Una visión actual de la diversidad y distribución de los pinos de México. Madera y Bosques, vol. 14, núm. 1, primavera, 2008, pp.07-120. Instituto de Ecología, A. C. Xalapa, México.
- Sandoval-García, Rufino, Jiménez-Pérez, Javier, Yarena-Yamallel, José I., Aguirre-Calderón, Oscar A., Alanís-Rodríguez, Eduardo y Gómez-Meza, Marco V. 2021. Análisis multitemporal del uso del suelo y vegetación en el Parque Nacional Cumbres de Monterrey. Revista Mexicana de Ciencias Forestales. Vol. 12 (66). 26 p.
- Sandoval-García, Rufino; Jiménez-Pérez, Javier; Yarena-Yamallel, José Israel; Aguirre-Calderón, Oscar A.; Alanís-Rodríguez, Eduardo y Gómez-Meza, Marco. 2022. Estrategias de restauración ecológica asociada a reforestaciones de *Pinus cembroides* Zucc., en el Parque Nacional Cumbres de Monterrey. Maderas y Bosques. Vol.28,núm. 2,e2822298. 13 p.
- SEMARNAT. 2017. Programa Nacional de la Reforestación y Cosecha de Agua. Informe anual. Disponible en: <https://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/libros2018/CD003393.pdf>.
- Sigala-Rodríguez, José Ángel; Sosa-Pérez, Gabriel; Martínez-Salvador, Martín; Albarrán-Alvarado, Daniel y Jacinto-Soto, Rodolfo. 2012. Influencia de la calidad de planta en la supervivencia y crecimiento de plantaciones forestales en Chihuahua. SAGARPA. Aldama, Chihuahua, México. ISBN 9786074258462. Pp. 57.

- Sigala-Rodríguez, José; González-Tagle, M. Aurelio y Jiménez-Pérez, Javier. 2015. Análisis de supervivencia para una reforestación con *Pinus pseudostrobus* Lindl. en el sur de Nuevo León. CIENCIA UANL/AÑO 18, No. 75. Pp. 6.
- Uvalle-Sauceda, J., C. Cantú-Ayala, F. González-Saldívar y J. Marmolejo-Moncivais. 2013. Climas, en: Cantú-Ayala et al. (eds.), Historia Natural del Parque Nacional Cumbres de Monterrey, México. UANL-CONANP. México. Pp. 41-51.
- Vanegas López, M. 2016. Manual de mejores prácticas de restauración de ecosistemas degradados, utilizando para reforestación solo especies nativas en zonas prioritarias. Informe final dentro del proyecto GEF 00089333 “Aumentar las capacidades de México para manejar especies exóticas invasoras a través de la implementación de la Estrategia Nacional de Especies Invasoras”. Conafor, Conabio, GEF-PNUD. México. 158 p.
- Vázquez C. J. Y. 2018. *Pinus greggii*. Características, distribución y ciclo de vida. Lifeder. Recuperado de <https://www.lifeder.com/pinus-greggii/>. (21 de diciembre 2018).
- Vázquez-García, I; Cetina-Alcalá, V. M.; Campos-Bolaños, R.; Casal-Ángeles, L. F. 2016. Evaluación de plantaciones forestales en tres comunidades de la Mixteca Alta Oaxaqueña. Agroproductividad: Vol. 9, Núm. 2, febrero. 2016. pp. 12-19. Colegio de Postgraduados, Texcoco, México.
- Vicente-Arbona, Julio César; Carrasco-Hernández, Violeta; Rodríguez-Trejo, Dante Arturo y Villanueva-Morales, Antonio. 2019. Calidad de planta de *Pinus greggii* en sustratos a base de aserrín. Maderas y Bosques. Vol. 25, núm. 2, e2521784. Pp. 14.
- Villers, L. & I. Trejo. 2000. El cambio climático y la vegetación. In México: una visión hacia el siglo XXI. El cambio climático en México, C. Gay (ed.). Instituto Nacional de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D. F. p. 57-72.
- Viveros-Viveros, Héctor; Sáenz-Romero, Cuauhtémoc; Vargas-Hernández, Jesús; López-Upton, Javier Variación entre procedencias de *Pinus pseudostrobus* establecidas

en dos sitios en Michoacán, México Revista Fitotecnia Mexicana, vol. 29, núm. 2, abril-junio, 2006, pp. 121-126 Sociedad Mexicana de Fitogenética, A.C. Chapingo, México.

Z. Xu, R. Muscarella, M. Zhu et al. Functional traits mediate seedling survival response to climate in a temperate forest, Fundamental Research, <https://doi.org/10.1016/j.fmre.2023.12.002>