

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO FORESTAL



Incrementos Anuales En Volumen Durante El Periodo 2012-2019, Para Dos Poblaciones  
De *Picea mexicana* Martínez De la Sierra Madre Oriental

Por:

**AMADOR SILVERIO MARTÍNEZ REYES**

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO FORESTAL**

Saltillo, Coahuila, México

Febrero, 2022

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO FORESTAL

Incrementos Anuales En Volumen Durante El Periodo 2012-2019, Para Dos Poblaciones De  
*Picea mexicana* Martínez De la Sierra Madre Oriental

Por:

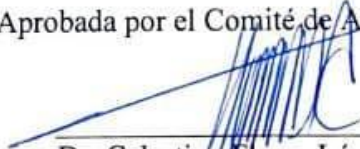
**AMADOR SILVERIO MARTÍNEZ REYES**


TESIS

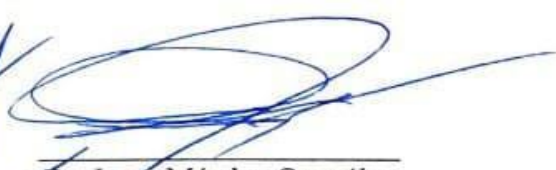
Presentada como requisito parcial para obtener el título de:


**INGENIERO FORESTAL**

Aprobada por el Comité de Asesoría:

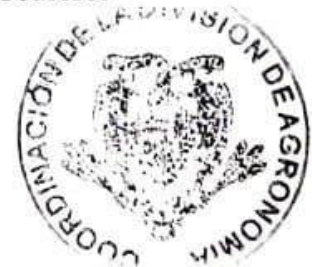
  
Dr. Celestino Flores López  
Asesor Principal

  
Dr. Alejandro Zárate Lupercio  
Coasesor

  
Dr. Jorge Méndez González  
Coasesor

  
Dr. José Antonio González Fuentes  
Coordinador de la División de Agronomía

Saltillo, Coahuila, México  
Febrero, 2022



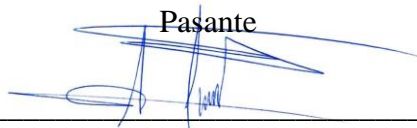
## **Derechos de Autor y Declaración de no plagio**

Todo material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor de los Estados Unidos Mexicanos, y pertenece al autor principal quien es el responsable directo y jura bajo protesta de decir verdad que no se incurrió en plagio o conducta académica incorrecta en los siguientes aspectos:

Reproducción de fragmentos o textos sin citar la fuente o autor original (corta y pega); reproducir un texto propio publicado anteriormente sin hacer referencia al documento original (auto plagio); comprar, robar o pedir prestados los datos o la tesis para presentarla como propia; omitir referencias bibliográficas o citar textualmente sin usar comillas; utilizar ideas o razonamientos de un autor sin citarlo; utilizar material digital como imágenes, videos, ilustraciones, gráficas, mapas o datos sin citar al autor original y/o fuente. Así mismo tengo conocimiento de que cualquier uso distinto de estos materiales como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Por lo anterior nos responsabilizamos de las consecuencias de cualquier tipo de plagio en caso de existir y declaramos que este trabajo no ha sido previamente presentado en ninguna otra institución educativa, organización, medio público o privado.

Pasante

A handwritten signature in blue ink, consisting of several overlapping loops and lines, positioned above a horizontal line.

Amador Silverio Martínez Reyes

En el presente estudio de tesis fue financiado por el Proyecto de Investigación de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro con clave 38-111-425103001-2173. Proyecto que pertenece al Departamento Forestal, a cargo del profesor investigador Dr. Celestino Flores López.

## **AGRADECIMIENTOS**

Con seguridad redacto la única parte de mi trabajo que será leída por completo, expreso y dejo constancia de mis más profundos agradecimientos a la institución *Alma Terra Mater*, que me vio madurar y crecer académicamente, a los profesores, compañeros cuya guía, apoyo y ánimos permitieron la concreción del presente trabajo, mil disculpas para aquellos que no mencione seguramente olvide su nombre, pero quiero que sepan que estoy agradecido con ustedes.

Al Dr. Celestino Flores López por brindarme su asesoría, paciencia, confianza y motivación para realizar y culminar este trabajo, me enseñó que la epistemología va más allá de lo académico, que en la vida hay que luchar a pesar de las adversidades haciendo lo correcto en todo momento, sus conocimientos perdurarán en la forestería. Sensei: ¡¡¡GRACIAS!!!.

Al Dr. Jorge Méndez González y al Dr. Alejandro Zárate Lupercio no solo por ser mis coasesores de tesis, sino también por ser admirables personas y transmitirme los conocimientos de mi vida académica y despertar en mí el deseo de siempre aprender.

A mis familiares, en especial a mi hermano Ing. Jaime Silverio Martínez Reyes, por compartir bellos e importantes momentos en mi vida.

A mis amigazos y hermanos por elección: Ing. Jorge Raymundo Nápoles Garrido (May), Ing. Norma Antonio Baxcajay, Alma Patricia Vicencio Martínez, Catarino Martínez Cruz, María de Lourdes Gómez Ruiz (Lulú), José Gil Solís Ruiz, Roberto Carlos Vázquez García, Hanniel Seraias López López, Ing. Jonatan Sánchez Torres, Ing. Jesús Pérez Díaz y a Marilyn Hurtado Herrera por su amistad y apoyo para lograr este trabajo

Y por último, pero no menos importante a mis amores.

**A todos, ¡GRACIAS!.**

**Dedicatoria**

A papá:

**Prof. Enrique Martínez González.**

Por su amor y sabiduría como legado.

Y a la familia Antonio Baxcajay.

## Índice General de Contenido

	Página
1. INTRODUCCIÓN .....	1
2. REVISIÓN DE LITERATURA .....	6
2.1 Descripción de <i>Picea mexicana</i> .....	6
2.1.2. Ecología.....	7
2.1.3. Importancia de la especie .....	8
2.2 Monitoreo y establecimiento de sitios permanentes .....	8
2.2.1 Importancia.....	8
2.2.2 Tipos de monitoreo.....	9
2.2.3 Sitios permanentes.....	10
2.3 Crecimiento e incremento de poblaciones .....	11
2.3.1 Técnicas de evaluación de crecimiento e incremento .....	11
2.3.2 Tipos de crecimiento e incrementos.....	12
2.4 Estudios de incrementos y crecimiento poblacional de <i>Picea</i> .....	14
3. MATERIALES Y MÉTODOS .....	15
3.1 Descripción de las poblaciones de <i>Picea mexicana</i> .....	15
3.1.1 Localización .....	15
3.2 Establecimiento de sitios permanentes .....	16
3.2.1 Tercera evaluación en los sitios permanentes .....	17
3.3 Cálculo de probabilidad de cambio de categoría.....	17
3.4 Cálculo del incremento volumétrico.....	19
3.5 Calculo de incrementos anual .....	21
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	24
4.1 Probabilidad de cambio de categoría por población de <i>Picea mexicana</i> .....	24

4.1.1 Probabilidad de cambio de categoría de la población del Sierra del Coahuilón, Arteaga, Coahuila.....	24
4.1.2 Probabilidad de cambio de categoría de la población del Sierra de la Marta, Rayones, Nuevo León. ....	25
4.1.3 Comparación de probabilidad de cambio de categoría entre poblaciones, La Marta, Rayones, Nuevo León y El Coahuilón, Arteaga, Coahuila .....	26
4.2 Comparación de incremento corriente anual en volumen entre poblaciones de <i>Picea mexicana</i> .....	27
5. CONCLUSIONES .....	30
6. RECOMENDACIONES.....	31
7. LITERATURA CITADA .....	32
APÉNDICE.....	41



## Índice de Cuadros

	Página
Cuadro 1 Localización de las dos poblaciones de <i>Picea mexicana</i> Martínez .....	15
Cuadro 2 Cálculo de probabilidad de cambios diamétricos .....	18
Cuadro 3 Modelo para la estimación de alturas de <i>Picea mexicana</i> Martínez en dos poblaciones de Coahuila .....	20
Cuadro 4 Cálculo de incremento para las clases diamétricas .....	23
Cuadro 5 Probabilidades de mortalidad y cambios de categorías diamétricas entre poblaciones de <i>Picea mexicana</i> en dos poblaciones de la Sierra Madre Oriental. ....	27
Cuadro 6 Pruebas de Normalidad .....	28
Cuadro 7 Incremento corriente anual en volumen por hectárea por sitio .....	29

## Índice de Figuras

	Página
Figura 1 Mapa de distribución de las dos localidades de <i>Picea mexicana</i> Martínez en el sureste de Coahuila .....	7

## Resumen

Al norte de México en el Sierra Madre Occidental, la especie de *Picea mexicana* Martínez se distribuye de manera relictual en pequeñas poblaciones fragmentadas, los registros indican solo tres localidades: La Marta, Rayones, Nuevo León., El Coahuilón, Arteaga, Coahuila y El Mohinora, Guadalupe y Calvo, Chihuahua, es importante su conservación y monitoreo ya que es una especie frágil e indicadora del cambio climático. El objetivo fue comparar el Incremento Corriente Anual (ICA) en volumen por hectárea para las poblaciones La Marta y El Coahuilón en el periodo 2012-2019. Se reevaluaron 12 sitios permanentes de 1000 m<sup>2</sup>, seis sitios en cada población. Se utilizó la metodología de Avery y Burkhart para la predicción de volúmenes. En la comparación de los Incrementos Corrientes Anuales en volumen entre poblaciones, primero se estimó la homogeneidad de varianzas mediante el programa SAS (Stastical Analysis System 9.0), posteriormente se realizó la prueba estadística paramétrica de t de Student con el programa R Studio. Para la población del Coahuilón se tuvo una mortalidad de 3.4%, el 44.8 % no tuvo ningún tipo de cambio de categoría diamétrica y 51.7 % tuvieron cambio de categoría. En comparación con la población de La Marta, no presentó mortalidad un 54.39 % no hubo cambio de categoría diamétrica y un 45.6% fue con cambio de categoría. La prueba estadística de t de Student indicó que no hay diferencia significativa en los ICA's en volumen de *Picea mexicana*. El resultado puede ser consecuencia de varios factores como el lento crecimiento de la especie, incendios, sobre pastoreo, periodo de evaluaciones, tasa alta de endogamia y sequía.

**Palabra clave:** Crecimiento, ICA, El Coahuilón, La Marta, Relicto, Endogamia.

## Abstract

To the north of México in the Sierra Madre Occidental, the species of *Picea mexicana* Martínez is distributed relictually in small fragmented populations, the records indicate only three localities: La Marta, Rayones, Nuevo León, El Coahuilón, Arteaga, Coahuila and El Mohinora, Guadalupe y Calvo, Chihuahua, its conservation and monitoring is important since it is a fragile species and an indicator of climate change. The objective was to compare the Current Annual Increase (CAI) in volume per hectare for the La Marta and El Coahuilón populations in the 2012-2019 period. Twelve permanent sites of 1000 m<sup>2</sup> were reevaluated, six sites in each population. The Avery and Burkhart methodology was used for volume prediction. In the comparison of the Current Annual Increments between populations, the homogeneity of variances was first estimated using the SAS program (Statistical Analysis System 9.0), then the Student's t parametric statistical test was performed with the R Studio program. For the population of Coahuilón there was a mortality of 3.4%, the 44.8% did not have any type of change in diameter category and 51.7% had a change in category. Compared to the population of La Marta, there was no mortality, 54.39% had no change in diametric category and 45.6% was with change of category. The statistical test of Student t indicated that there is no significant difference in the CAI in volume of *Picea mexicana*., The result may be a consequence of several factors such as slow growth of the species, fires, overgrazing, evaluation period, high rate of inbreeding, and drought.

**Key Word:** Growth, ICA, El Coahuilón, La Marta, Relict, Endogamy.

## 1. INTRODUCCIÓN

La presencia de coníferas y especies del género *Picea* en México se remota desde el pleistoceno tardío, ya que ha quedado evidenciados residuos de polen de *Picea*, *Pinus* y *Quercus* encontrados en varios cráteres volcánicos de las cuencas localizadas en la Faja Volcánica Transmexicana (Caballero *et al.*, 2010). Las pocas poblaciones del género *Picea* presentes en México están en las áreas de clima templado y frío del norte como poblaciones relictas, la distribución espacial se encuentra restringida a condiciones ambientales muy específicas (Rzedowski, 2006; González *et al.*, 2007). Su hábitat está asociado con especies del género *Pseudotsuga* y *Abies*, formando bosques de altitudes que van de los 2000 a los 4000 m (Rzedowski, 2006).

En México encontramos tres especies endémicas de *Picea*: *Picea mexicana* Martínez, *Picea chihuahuana* Martínez y *Picea martinezii* Patterson (Rzedowski, 2006) se encuentran restringidas a una zona subalpina de 3350 msnm, estas poblaciones están distribuidas en la sierra madre occidental, en la parte norte del estado de Chihuahua y entre los límites de Coahuila y Nuevo León (Ledig *et al.*, 2000; Flores-López *et al.*, 2005; Mendoza -Maya *et al.*, 2015).

Naturalmente la sensibilidad de los bosques presentes en las cordilleras latinoamericanas es muy alta debido a sus altitudes mayores (Delgado *et al.*, 2016), éstos son impactados de forma negativa por los hábitos de los seres humanos (Ledig *et al.*, 2000), los cambios hacen que los organismos se adapten y que se reflejen en su distribución geográfica, “Creemos que las tres especies de abeto mexicano son emblemáticas de los desafíos que México enfrentará en la implementación y gestión para prevenir la extinción por calentamiento global” (Ledig *et al.*, 2010), las tres especies encuentran en categoría de peligro de extinción (P) según la

NOM-059-2010 (SEMARNAT, 2010). La importancia biológica y mayoritariamente económica de los bosques ha orillado a diseñar estrategias de manejo, sustentados a través del monitoreo de tipo silvícola y forestal, en esta ocasión nos centraremos en el tipo forestal, esta herramienta integra indicadores de estructuras ecosistémicas, biodiversidad, productividad del suelo, sociales y culturales (Salvador *et al.*, 2019), esto da como resultado el conocimiento de los cambios a un largo plazo detectando los factores que influyen, esta información nos permite tomar decisiones, pronosticar, prevenir y fortalecer estrategias para alcanzar los objetivos específicos del monitoreo (Chediack, 2009).

Un buen manejo a través de un monitoreo constante influye en las decisiones que la sociedad elige sobre los recursos naturales, implementando medidas para disminuir la pérdida de la biodiversidad, para conocer la dinámica de la flora el manejo complementa la técnica de parcelas permanentes (Chediack, 2009). La FAO al apoyar en la mitigación de la deforestación establece un apoyo para el monitoreo forestal bajo “Directrices voluntarias sobre el monitoreo forestal nacional” en el contexto de los mecanismos de la estrategia de Reducción de Emisiones derivadas de la Deforestación y la Degradación de los bosques (REDD+), el cual facilita elementos y mejores prácticas en el sistema nacional de monitoreo de los bosques (SNMB), los cuales son multipropósito, recopilan datos del sistema satelital terrestre y de inventarios forestales nacionales que incluyen evaluaciones, análisis interpretación de datos y notificación de emisiones (FAO, 2018).

Para alcanzar el objetivo de los sitios permanentes se deben de contemplar los criterios de diseño de muestreo, ubicación, tamaño, forma, la información a recopilar, compatibilidad de datos y cumplir con el principio del Consejo de Manejo Forestal (FSC), Forest Stewardship Council (Corral-Rival *et al.*, 2013; FSC, 1996 y 2015):

- A. Generar la información necesaria para el desarrollo y validación de modelos de crecimiento.
- B. Estimar el potencial productivo de sitios forestales.

- C. Proporcionar datos sobre el efecto de la silvicultura en el crecimiento de especies comerciales, características físicas y químicas del suelo.
- D. Evaluar cambios a largo plazo.
- E. Caracterización y modelación de la estructura espacial de los rodales.
- F. Cumplir con el principio ocho de la FSC (monitoreo y evaluación) del estándar de certificación forestal del consejo de manejo forestal (FSC).
- G. Desarrollo de indicadores clave para el manejo forestal sostenible.

Los recursos forestales no solo reflejan su identidad, usos o costumbres, sí no que también influyen en el ingreso económico, con la integralidad de estas características se da la opción de un bienestar, pero los índices de productividad suelen ser muy bajos, en México existe una baja productividad y un gran incremento poblacional, para ello se plantean actividades de rentabilidad, tomando en cuenta el crecimiento de un árbol en todo el periodo de vida y el incremento que se obtiene en un tiempo determinado (Loera-Martínez y Sepulveda-Jiménez, 2015), cuando se habla de incremento se dice que su volumen aumenta dentro de un área definida, en los inventarios forestales encontramos individuos que no fueron considerados y que no alcanzaron el diámetro mínimo límite y que se presentan en la siguiente toma de datos, ha estos árboles se les llaman incorporación (Klepac, 1983).

Para las especies en riesgo el gobierno federal implementó 14 proyectos a lo largo de diez años (1997-2007), se propuso un esquema de seguimiento y evaluación para la recuperación de especies en riesgo, donde se sugiere criterios e indicadores que abarcan la ecología, aspectos socioeconómicos, acciones de manejo y de conservación, a este importante proyecto incitó la participación comunitaria (Ortega-Argueta y Contreras-Hernández 2013; FAO, 2018), reforzando los sitios permanente de muestreo como un instrumento indicativo de crecimiento y rendimiento de bosques (Contreras *et al.*, 1999).

Los estudios actuales realizados sobre monitoreo del crecimiento y ecología generalmente son temporales dejando a un lado el seguimiento, por esta razón el presente estudio sobre la especie *Picea mexicana*, se justifica la continuidad del monitoreo, donde se hace la

comparación de los incrementos en volumen durante el periodo 2012 al 2019 y los resultados obtenidos por Chaparro (2014).

Los bosques ofrecen servicios ecosistémicos, por eso es necesario estudiar y anticipar amenazas. El cambio climático es una de ellas ya que altera los ciclos hidrológicos, los procesos de erosión y afecta la biodiversidad. Por lo tanto, la generación y disponibilidad de información nos ofrece una mayor capacidad analítica y mejoras en la predicción de efectos sobre los bosques (García-Valdés y Morales-Castilla, 2016), la especie *Picea mexicana* al ser una especie susceptible e indicadora al cambio climático, precisa el monitoreo periódico, y en especial la variable de Incremento Corriente Anual (ICA), considerando elementos de incorporación y mortalidad.

### **Objetivo**

Estimar el Incremento Corriente Anual en volumen de *Picea mexicana* por superficie para la población La Marta, municipio de Rayones, Nuevo León, y El Coahuilón, municipio de Arteaga, Coahuila, para el periodo 2012- 2019.

### **Objetivos específicos**

- a) Comparar los incrementos de volumen de *Picea mexicana* considerando la incorporación y la mortalidad de los sitios permanentes, en la población de La Marta, municipio de Rayones, Nuevo León, y El Coahuilón, municipio de Arteaga, Coahuila, durante el periodo 2012-2019 y 2013-2019 respectivamente.
- b) Discutir los posibles factores que intervinieron en el Incremento Corriente Anual en volumen de *Picea mexicana* entre la Población de La Marta, Rayones, Nuevo León y El Coahuilón, Arteaga, Coahuila, durante el periodo 2012-2019 y 2013-2019 respectivamente



## **Hipótesis**

### **H<sub>0</sub>:**

Los incrementos anuales en volumen de la especie leñosa en sitios permanentes de población de *Picea mexicana*, no hay cambio significativo en los rodales del Coahuilón (2013-2019) y la Marta (2012-2019).

### **H<sub>a</sub>:**

Los incrementos anuales en volumen de la especie leñosa en sitios permanentes de población de *Picea mexicana*, existe un cambio significativo en los rodales del Coahuilón (2013-2019) y la Marta (2012-2019).

## 2. REVISIÓN DE LITERATURA

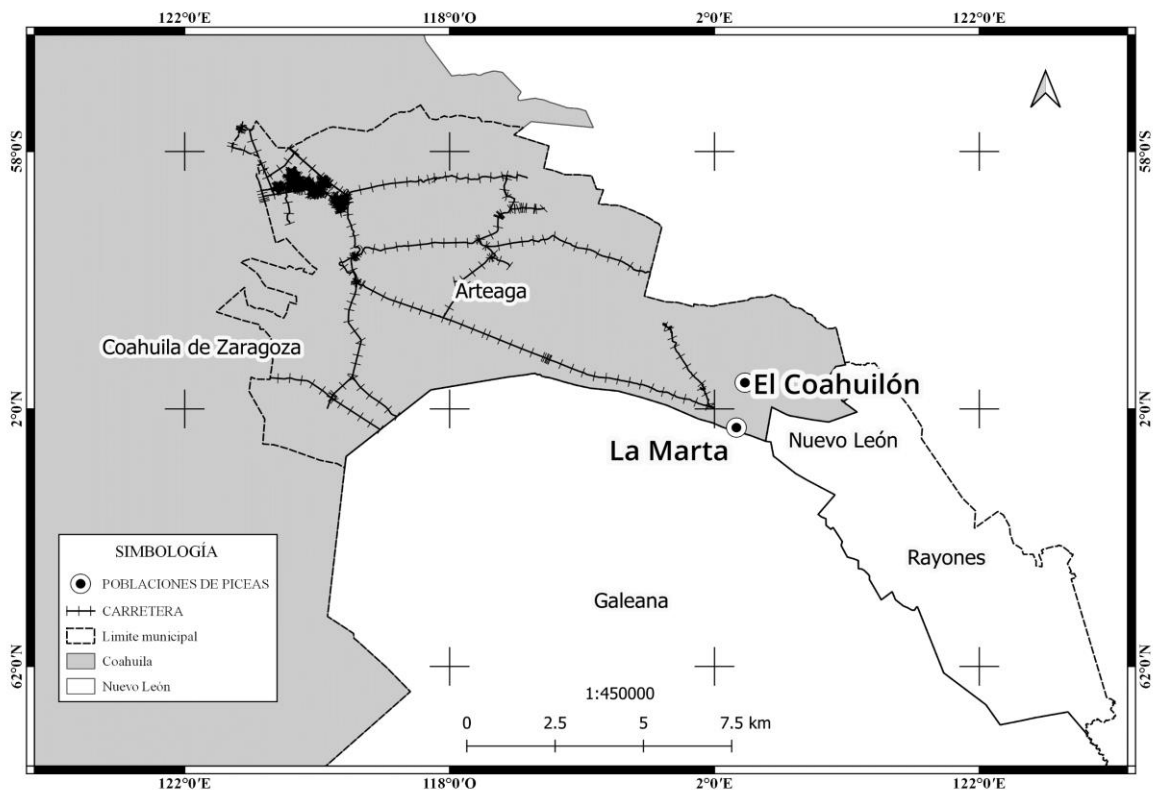
### 2.1 Descripción de *Picea mexicana*

Los especímenes presentan una altura de 25 a 28 metros, fustes de 50 a 60 centímetros de diámetro normal de corteza lisa con un grosor de 15 a 18 milímetros, la ramificación inicial es de hasta 3 metros con acodos verticilado, extendidos en la base y los superiores ascendientes forman una copa tipo piramidal, las hojas son cuadrangulares que van desde 18 a 36 milímetros de largo por 1 milímetro de ancho con ápice cornea y pungente, con estomas agrupados en 3 y 4 hileras en cada cara el cual no presenta canales resiníferos, los conos masculinos subterminales están agrupados en tres ovales, con 15 milímetros de largo por 10 milímetros de ancho, la parte escamiforme del conectivo rómbico orbicular van de 2.5 mm de largo y 2 mm de ancho con el borde superior eroso, los conos femeninos son de forma oval de 5 a 6 cm de un color amarillento opaco, ya sea en la parte lateral o terminal del ejemplar, las escamas son subrómicas, estriadas con el ápice redondeado con el borde superior con ápice eroso denticulado con un longitud de 14 mm y de 10 a 12 mm de ancho, las brácteas dorsales elípticas de 5.5 a 6 mm, alas de 7 mm de largo por 5 mm de ancho, semillas ovoides de color pardos de 3.5 mm por 2.5 mm de ancho (Martínez, 1961).

Corresponde a la familia de Pinaceae, del género *picea*, por lo que recibe el nombre de *Picea mexicana* y con el nombre científico de *Picea mexicana* (UNAM, 2021), se debe de considerar que *Picea mexicana* se trata de una especie diferente a *Picea engelmannii* Parry ex Engelm. (Farjon, 2017), aunque se encuentran estrechamente relacionadas, la especie puede haber evolucionado durante el Pleistoceno y aislado en forma de relictos de *Picea engelmannii* en algún interglacial en el Cuaternario (Ledig *et al.*, 2004).

### 2.1.2. Ecología

La especie se encuentra restringida a grandes altitudes, limitada por características morfológicas y una distribución alterna en laderas orientadas al norte y barrancos en montañas con geología de piedra caliza, en la actualidad los bosques están reducidos (Rzedowski, 2006; Paine, 2019), los pertenecientes a este género son semejantes en aspecto morfológicos de hojas a lo *Abies* y *Pseudotsuga* y de comportamiento ecológico ya que las especies de *Picea* ocupan hábitats análogos a las especies antes mencionadas formando bosques mixtos de *Pinus*, *Pseudotsuga* y *Abies* (Rzedowski, 2006). Las poblaciones estudiadas se encuentran por encima de los 3400 msnm, en un clima subalpino, dentro de la Sierra Madre Oriental (Patterson, 1988), La Marta, municipio de Rayones, Nuevo León y El Coahuilón, municipio de Arteaga, Coahuila (Figura 1).



### 2.1.3. Importancia de la especie

El género *Picea* es importante ya que integra a *Picea mexicana* una de las tres especies que se encuentra en relictos del último periodo glacial, endémico de México y en categoría de peligro de extinción (P) de acuerdo con la NOM-059-SEMARNAT-2010, por lo que se considera su conservación, protección legal y manejo integral a nivel *in situ* y *ex situ* (Flores-López *et al.*, 2013; Mendoza-Maya *et al.*, 2015), además de que se desconoce su interrelación con la flora y fauna asociada. En la actualidad *Picea mexicana* no se permite comercialización ya que es una especie endémica y de distribución restringida (Thomas, 2019)

*Picea mexicana* es una especie indicadora del cambio climático como se manifiesta en el trabajo de Mendoza-Maya *et al.* del 2015: Propuesta de Conservación de Tres Especies Mexicanas de *Picea* en Peligro de Extinción y de Ledig *et al.* (2010) en su estudio: Proyecciones de Hábitat Adecuado para Especies Raras Bajo Escenario de Calentamiento Global, donde se maneja el término migración asistida, como una estrategia de conservación de acuerdo con las proyecciones de nichos ecológicos obtenidos, existe un desplazamiento de climas, creando zonas de idoneidad, los estudios ecológicos y genéticos realizados fundamentan la necesidad imperiosa de conservación del género *Picea* (Flores, 2014).

## 2.2 Monitoreo y establecimiento de sitios permanentes

### 2.2.1 Importancia

Es importante considerar que se requiere de un Programa de Manejo Forestal (PMF) para conseguir bienes y servicios sustentables a través de un buen manejo forestal el cual mantenga y restaure las funciones del bosque tomando como base el marco legal institucional y de políticas públicas, manteniendo las características de extensión, diversidad biológica, salud, funciones productivas, de protección y socioeconómicas, complementándose con un monitoreo-evolución a largo plazo (Cortés y Fernández, 2021). Sin embargo, para *Picea mexicana* que está en estatus de riesgo, el monitoreo a través de sitios permanentes puede ser

considerada como una acción a corto y largo plazo para toma de decisiones en su conservación.

La información derivada de los sitios de muestreo es obtener resultados sobre el crecimiento, producción y evolución de los bosques, el monitoreo que se establece a través de los sitios permanentes da lugar a que el manejador o investigador observe diferentes variables silvícolas, económicas, ecológicas, sociales y culturales recolectando información base (Corral-Rival *et al.*, 2013). El establecimiento se realiza con el fin de monitorear de forma periódica los cambios en el desarrollo de las especies forestales, los cuales pueden darse de manera natural o controlada (Olvera *et al.*, 1996), con esta información algunos órganos de gobierno componen una base de información completa, confiable y transparente esencial para la toma de decisiones y convertir la sostenibilidad en una política operacional (Aguirre-Bravo, 1994; FAO, 2017).

### 2.2.2 Tipos de monitoreo

Desarrollar estrategias a nivel nacional es fundamental a fin de planificar y ejecutar los sistemas de monitoreo, deben de tener directrices que por objeto respondan a los vacíos sobre capacidad a nivel nacional, siempre teniendo en cuenta que es necesario ajustar la metodologías de monitoreo a las circunstancias nacionales (FAO, 2017), el monitoreo nos ayuda a describir la condiciones existentes, la ocurrencia, distribución, e intensidad de las áreas rurales, se definen seis tipos de monitoreo, la utilizada para cada caso depende del tipo de intensidad de las mediciones (MacDonald L *et al.*, 1991).

- Monitoreo de tendencia: captura de datos con intervalos regulares para determinar la tendencia de largo plazo de un parámetro en particular.
- Monitoreo base: sinónimos de este monitoreo de evaluación o inventario, se tratar de usar para caracterizar las condiciones ambientales existentes y para establecer una base de datos para planificar o hacer comparativas a futuro.
- Monitoreo de efectividad: se ejecuta para la evaluar si las actividades que llevaron a cabo bajo la planeación.

- Monitoreo de efectividad: se usa para determinar si las actividades específicas que se implantaron tuvieron en efecto deseado.
- Monitoreo de proyectos: evalúa los impactos de una actividad o tipo de proyecto en particular.
- Monitoreo de validación: prueba se manera individual los resultados de un modelo para proveer una evaluación objetiva de la ejecución completa del modelo.

Las evaluaciones son importantes por tres razones por que estas presentan un ritmo de crecimiento, que en zonas que suelen ser aprovechadas con una tasa superior de aprovechamiento, la cuantificación permite la toma de decisiones para uso adecuado del suelo, tener los conocimientos permite definir los planes de desarrollo regional integral, existen las evaluaciones directas e indirectas, las evaluaciones cuantitativas y cualitativas, con extensión local, estatal, regional y nacional, únicos y periódicos (Rivas, 2006).

### 2.2.3 Sitios permanentes

Los sitios permanentes de investigación están dirigidos para generar información en el campo muy específica (Manzanilla, 1993), por ejemplo, en el inventario nacional se tienen que estructurar los conglomerados, con sitios circulares y subparcelas para medir la vegetación de tamaños mayores y menores, la regeneración, características de suelo y combustible, el diseño trae consigo un alto valor de conocimientos de los ecosistemas forestales (CONAFOR, 2018). Es necesario tener información que sea concreta, para conocer la evolución de las especies en un periodo de tiempo y sobre diferentes condiciones, se vuelve una herramienta fundamental para una planeación concreta de un manejo forestal, cuantificando los rendimientos de una determinada especie, edad y sitio, con la cual podemos desarrollar modelos de crecimiento, la precisión de los modelos ajustados a las parcelas de muestro permanentes, es condicionada por su localización, duración de la mediciones y como de la covarianzas de las distintas variables y coeficientes de un modelo ajustado (Cervantes, 2014; Alvarado y Groothousen, 2000).

La información generada mediante los sitios permanentes y temporales dan lugar en México a las reglas de operación para un desarrollo forestal sustentable, de estas se derivan el manejo Forestal Comunitario y Cadenas de Valor (MFCCV), Servicios Ambientales, Protección Forestal (PF), esta reglamentación va de la mano con la certificación de los recursos forestales maderables y no maderables, los cuales forman base de la Certificación de Cadena de Custodia (FSC), Normas Mexicanas (NMX), Auditoria Técnicas Preventivas (ATP) (CONAFOR, 2020).

Para tener una calidad de sitios permanentes estos deben de cumplir un estándar de calidad y que se puedan reproducir en el establecimiento de nuevos sitios, por lo tanto, una parte muy importante es el diseño de muestreo, este debe de ser representativo y confiable, comúnmente se suele utilizar el muestreo aleatorio, el muestreo sistemático y el dirigido, la remediación depende del tipo de bosque y su dinámica (Ortega-Argueta y Contreras-Hernández, 2013).

La información que se genera en las áreas debe de permitir, mantenimiento, evaluación y remediciones, se recomienda registrar los datos en cuatro diferentes formatos: información de control y ecológica del sitio, información dasométricas, información de la regeneración natural, información de recurso suelo (Corral-Rivas *et al.*, 2013), La pérdida de sitios permanentes radica en la poca capacitación de personal, limitación en el financiamiento, poca presencia de la población en los proyectos y la falta de continuidad del proyecto (Salvador *et al.*, 2019).

## **2.3 Crecimiento e incremento de poblaciones**

### **2.3.1 Técnicas de evaluación de crecimiento e incremento**

El término llega a nuestro acervo justo cuando México tenía una significativa preocupación en el área de desarrollo en programas de explotación de bosques, en el año de 1973 la Subsecretaria Forestal y de la Fauna implemento el Programa Nacional del Desarrollo Forestal, manifestándose el interés de los profesionales en el área de evaluación,

perfeccionando cada vez más su conocimiento en el área de la dinámica de los bosques, en la tecnificación, gestiones económicas y la integración de la sociedad para impactar de manera positiva en la economía nacional (Klepac, 1983).

Algunos de los métodos para evaluar los incrementos, y la productividad se hacen de manera directa ya que son más confiables, se clasifican en tablas de incrementos y productividad aplicando algún método como: el método de taladro de Pressler, método de control y análisis troncal (Rivas, 2006). La relación que se tiene en el crecimiento es resultado del desarrollo de altura, gráficamente se puede manifestar al principio de la curva de manera cóncava y después de manera convexa, en forma sigmoideal, el crecimiento también va de la mano con el incremento que para los bosques no coetáneos se usa el termino tiempo de paso, los cuales trabajan con el Incremento Corriente Anual (ICA) y el Incremento Medio Anual (IMA) (Klepac, 1983; Contreras, 1998).

### 2.3.2 Tipos de crecimiento e incrementos

Conforme el árbol va sumando dimensiones (diámetro, altura y volumen), en un determinado tiempo se llama incremento, para los siguientes parámetros, incremento del árbol en diámetro, incremento del árbol en altura, incremento de árbol en volumen, también se le conoce como incremento de masa o bosque, a continuación, se enlistan algunos tipos de incrementos (Klepac, 1983; Contreras, 1998).

1. Incremento corriente anual, es el crecimiento que logra un árbol o una masa en el curso de un año.
2. Incremento periódico, es el crecimiento de un árbol o una masa en un tiempo determinado.
3. Incremento total, es el crecimiento de un árbol o una masa durante toda su vida.
4. Incremento periódico anual, es el promedio anual del incremento periódico.
5. Incremento medio anual, es el promedio anual del incremento total: se obtiene dividiendo las dimensiones de un árbol o una masa entre su edad.



6. Al incremento periódico anual comúnmente se le llama incremento corriente y al incremento medio anual incremento medio.

### 2.3.2 Secuelas de cálculo de incrementos en sitios permanentes

Es común en México estimar el incremento corriente anual en volumen por ha utilizando sitios temporales, donde se estima el incremento en diámetro usando el taladro de Pressler para posteriormente convertirlo en incremento en volumen. Este procedimiento se realiza a través de secuelas de cálculo como las que mencionan Klepack (1983), Aguilar-Ramírez y Villa-Salas (1995), de las rutinas de cálculo que recomiendan en este caso es la versión modificada de Loetsch, así como los métodos rápido de Klepac, método de Aguilar. Estas rutinas de incrementos de volumen de coníferas no consideran los efectos de incorporación y mortalidad ya que no se hacen en sitios permanentes, donde se tiene un control de los árboles.

Sin embargo, cuando se toman observaciones en parcelas permanentes se registran un censo de los árboles, esto permite que en periodos de tiempo se pueda estimar en cambio de categoría diamétrica y la mortalidad, o en su caso aquellos árboles que no crecieron, además se puede monitorear los diferentes daños que se pueden presentar (Gómez, 2007; López, 2009; Chaparro, 2014). La evaluación continua de las parcelas permanentes van a permitir interpretar y visualizar la dinámica de los bosques (Olvera *et al.*, 1996).

De esta manera, para estimar el incremento corriente anual en volumen por superficie en un rodal se requiere de dos medidas dosométricas, divididas por el tiempo de transcurrido entre ellos. Este intervalo de tiempo a menudo es de alrededor de un año, sin embargo, en bosques de crecimiento lento es mayor (West, 2015). En este intervalo de tiempo se miden cinco tipos de árboles que comúnmente se encuentran: árboles sobrevivientes, árboles sin crecimiento, árboles muertos, árboles cortados y árboles incorporados, estos últimos no fueron evaluados en el primer tiempo ya que estaban por debajo de la categoría mínima (Kershaw *et al.*, 2017; Avery y Burkhart, 2002).

Uno de los métodos utilizados en evaluar el crecimiento en rodales es la elaboración de una tabla de proyección de crecimiento que es un método de predicción de crecimiento que reconoce la estructura del rodal y las proyecciones de crecimiento, son hechas de acuerdo a la categoría diamétrica. Este método es el más utilizado para rodales incoetáneos de baja densidad e inmaduros. Los componentes que evalúan es la acreción, mortalidad e incorporación. La acreción es el crecimiento de todos los árboles que se midieron al principio del periodo de crecimiento, esto incluye a los árboles que fueron cortados durante el periodo más esos árboles que fueron muertos y utilizados (Avery y Burkhart, 2002).

Las observaciones en las parcelas permanentes registran un censo de datos necesarios para desarrollar modelos de crecimientos, con la desventaja de tener un costo elevado para su mantenimiento estructural y una espera larga de generación de datos (Chaparro, 2014), la continuidad de procesamiento de los datos de parcelas permanentes es por la información obtenida y que nos permita interpretar y visualizar detalladamente la dinámica de los bosques (Olvera *et al.*, 1996).

#### **2.4 Estudios de incrementos y crecimiento poblacional de *Picea***

Las especies al analizar, entender y comprender sus características biológicas han generado conocimientos a través del tiempo, sin embargo estudios que hablen sobre la dinámica de incrementos y crecimiento de *Picea* son escasas para México y se tiene que recurrir a literatura de otros países, algunos autores se enfocan en contestar las interrogantes como es el caso de los estudios de incremento de volumen de arbolado en sitios permanentes establecidos en poblaciones de *Picea mexicana* en México (Flores-López *et al.*, 2019), Crecimiento de Pináceas Asociados a poblaciones Naturales de *Picea mexicana* en México (Cervantes, 2014), Crecimiento de *Picea mexicana* en poblaciones naturales de México (López, 2009), Crecimiento e incremento de *Picea martinezii* T.F Patterson en tres poblaciones de Nuevo León (Gómez, 2007), el trabajo de Juan Hernández Pachuca (2014), Comparación de crecimiento e incremento en tres poblaciones de *Picea martinezii* T.P Patterson a partir de sitios permanentes y de Flores-López *et al.* (2019), Monitoreo de poblaciones de *Picea mexicana* y acciones de conservación en México.

### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 Descripción de las poblaciones de *Picea mexicana*

##### 3.1.1 Localización

La distribución de bosques del género *Picea* en México se encuentran en relictos y aislada debido a la última glaciación, el estatus de esta especie se debe a la elevada fragmentación y aislamiento, algunos casos con alto grado de endogamia, bajas tasas de reproducción, se desarrollan en la zona subalpina entre los 3350 y 3550 msnm, dos poblaciones se encuentran en una zona de máxima altura de la Sierra Madre Oriental registro en el Cuadro 1, distanciados a 5 km, entre los límites del estado de Coahuila y Nuevo León y la tercera población se localiza en la Sierra Madre Occidental en el Cerro Mohinora, el pico alto de la sierra del estado de Chihuahua (la última población no se consideró en el proyecto) (Mendoza-Maya *et al.*, 2015). Prospera en laderas pronunciadas, húmedas y con orientación al norte en suelos derivados de la dolomita (Farjon, 2017) (Cuadro 1).

**Cuadro 1. Localización de las dos poblaciones de *Picea mexicana* Martínez**

<b>Población</b>	<b>Propiedad</b>	<b>Municipio</b>	<b>Coordenadas Datum WGS84*</b>	<b>Altitud (msnm)</b>
Sierra La Marta	Privada	Rayones, Nuevo León.	25°12'1.18"N 100°21'53.85"O	3417
Sierra El Coahuilón	Familia Sánchez de la Peña	Ejido Nuncio, Arteaga, Coahuila.	25°14'51.70"N 100°21'21.21"O	3544

\*Datos de ubicación recolectados en campo.

### 3.1.2 Aspectos ecológicos

Las poblaciones de bosques de *Picea* se distribuyen en cañadas húmedas en asociación con *Pseudotsuga*, *Abies*, *Cupressus*, *Pinus* y *Populus* con altitudes de 25000 y 2900 msnm (García-Arévalo, 2008). Pertenecen a la provincia de la Sierra Madre Oriental, el rango de temperaturas es de 8 a 20°C, con una precipitación de 300 y 700 mm, el clima es templado subhúmedo con lluvias escasas todo el año, también se presentan un clima semiseco templado, semifrío subhúmedo con lluvias escasas todo el año, templado subhúmedo con lluvias en verano, la geología dominante es cretácico, suelo dominante leptosol (INEGI, 2009).

La vegetación reportada antes del incendio del 1975 en la Sierra La Marta se componía por estratos arbóreos de 17 m de altura: *Abies vejarii*, *Pseudotsuga flahaulti*, *Pinus ayacahuite*, *Pinus hartwegii* y *Picea mexicana*: el estrato arbustivo se componía por *Quercus pungens* y *Gymnosperma glutinosum* (Olvera, 1998).

### 3.2 Establecimiento de sitios permanentes

En las observaciones que se ejecutaron en la primera y segunda evaluación dieron como resultado una distribución de individuos no homogénea de *Picea mexicana*, se realizó el muestreo para tener información representativa de las dos diferentes poblaciones, se estatuyeron seis sitios de muestreo permanente en cada rodal. Cada sitio estuvo integrado de tres sitios concéntricos en el orden siguiente, 1000 m<sup>2</sup>, 400 m<sup>2</sup> y 80 m<sup>2</sup>. Con antelación, dos sitios permanentes de muestreo fueron establecidos en la Sierra La Marta en 1987 (López, 2009).

Los sitio de 1000 m<sup>2</sup> fueron trazados de forma circular concéntrico, el área se calculó un radio de 17.84 m tienen como objetivo generar información de especies arboladas considerando categorías diamétricas superiores a 15 cm, los sitios con dimensiones de 400 m<sup>2</sup> en la delimitación se manejó la cuerda con un radio de 11.28 m, estos dieron lugar al

registro de datos de arbolado de categorías de entre 5 cm y 10 cm y para el área de los sitios de 80 m<sup>2</sup> se usó la misma cuerda con 5.046 m de radio se registró información general de ejemplares con un diámetro menor a 5 cm.

La información dasométrica, ecológica y silvícola de los sitios fue concentrada en formatos adaptados a la metodología de la Dirección General del Inventario Forestal (Manzanilla, 1993) se tomaron en cuenta la vegetación asociada cuantificándola y cualificándola, se llevó a cabo el registro de la condición sanitaria, características del terreno y fenómenos naturales y/o antropogénicos observados al momento de la evaluación.

### 3.2.1 Tercera evaluación en los sitios permanentes

La tercera evaluación correspondió al periodo 2012-2019 , se contabilizaron los árboles que cumplieron los criterios mínimos para ser considerados como incorporación o mortalidad, así como de la remediación de altura, diámetro normal, grosor de la corteza, pendiente, exposición por mencionar algunas, remaqueo de la numeración de los árboles, se anotaron las observaciones presentes y los efectos meteorológicos en el momento, así como de eventos que no se pudieran captarse de manera remota, estos datos también fueron evaluados en la primera evaluación en el año 2008 y en la segunda (2012), la ubicación se realizó con la ayuda de un receptor GPS.

### **3.3 Cálculo de probabilidad de cambio de categoría**

Antes de iniciar con los cálculos de probabilidad de cambio de categoría de los árboles a nivel sitio se corrigieron algunos datos incongruentes con la altura o el diámetro, para corregir estas anomalías, se hizo uso del programa SIGMA PLOT Produce High-quality Technical Graphs en su versión 12.0, ejecutando el modelo de regresión lineal empleada en el trabajo de Chaparro (2014), dicho modelo predice la altura y el diámetro (Cuadro 3), cabe destacar que para seleccionar el modelo compararon el estadísticos de R cuadrada (0.8528) para tener una ecuación de predicción adecuada y que se ajustaran a los datos de campo de altura y

diámetro, para calcular volumen se usó el modelo de Alexander (1987),  $V = 0.00239 D^2 H + 0.06439$ , de donde  $V =$  volumen en metros cúbicos,  $D^2 =$  diámetro a la altura de pecho (1.30 m) centímetros,  $H =$  altura total del árbol en metros, las unidades de medición fueron transformadas de centímetro a pulgadas y metros a pies.

El proceso para el cálculo de probabilidades de cambio de categoría por estructura diamétrica como se ve en el ejemplo del Cuadro 2, se utilizó la metodología de Avery y Burkhart (2002), el procedimiento considera a los ejemplares que alcanzaron la categoría mínima de 15 y la sucesión de árboles que cambiaron de categorías, la información se trabajó a nivel especie, obteniendo finalmente la probabilidad de cambio mediante la totalidad de árboles registrados.

**Cuadro 2. Cálculo de probabilidad de cambios diamétricos**

Especie	Evaluación			Nueva clase diamétrica	Cambio de estructura del rodal, número de árboles				
	2008	2012	2019		Mortalidad		Clases de diámetro		
					Muertos	Sin cambio	+5 cm	+10 cm	+15 cm
<i>Picea mexicana</i>	18.2	19.6	19.7	0	0	1	0	0	0
<i>Picea mexicana</i>	16.8	18.1	19.8	0	0	1	0	0	0
<i>Picea mexicana</i>	18.4	20.7	22.3	0	0	1	0	0	0
<i>Picea mexicana</i>	17.4	18.6	muerto	0	1	0	0	0	0
	Probabilidad			0	1	3	0	0	0
Total					0.25	0.75	0	0	0
Columna 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Tratamiento de datos:

- A. La columna 1. Describe el nombre de la especie evaluada
- B. Columna 2. Corresponde a la primera lectura del diámetro de cada árbol

- C. Columna 3. Registro de la segunda lectura de los ejemplares.
- D. Columna 4. Registro de la tercera evaluación.
- E. Columna 5. Lista de nuevas clases diamétricas registradas.
- F. Columna 6 y 7. Registro de especies sin vida visual y biológicamente, la columna 7 son especies sin cambio en la medición
- G. Las columnas 8, 9 y 10. Incrementos en centímetro de las especies registradas.
- H. La celda de probabilidad corresponde al porcentaje de cambio proporcional al número de número de árboles con algún cambio o no, se calcula con la siguiente ecuación:

$$\text{Probabilidad} = \left( \frac{\text{Número total de árboles}}{\text{Número de observaciones}} \right) * (100\%)$$

### 3.4 Cálculo del incremento volumétrico

Para el cálculo volumétrico de *Picea mexicana*, se trabajó con la base de datos del Cuadro 2, anexando nuevas columnas las cuales servirán de apoyo para estimar el volumen por árbol de la segunda evaluación y el volumen de la última evaluación registrando los árboles con cambios de categoría por sitio (Cuadro 4).

Para el cálculo de volumen de la especie se utilizó una ecuación la cual toma la relación empírica que guardan las variables explícitas de diámetro y altura del pecho, la altura del árbol (H) y las combinaciones que se pueden originar (Romahn de la Vega y Ramírez, 2010; Zianis *et al.*, 2005), esto puede variar dependiendo de las condiciones locales.

El procesamiento de datos para construir la tabla de proyección (Cuadro 4), se realizó bajo los siguientes pasos:

Columna 1. Nombre de la especie evaluada.

Columna 2. Refiere al diámetro con corteza que tiene el árbol a 1.30 m sobre el nivel del suelo.

Columna 3. Número de árboles contabilizados en 1000 m<sup>2</sup>.

Columna 4. Altura de árboles obtenidos en campo por categoría diamétrica y las alturas de las categorías diamétricas siguientes que no cuentan con alturas se estimaron a través del siguiente modelo que se obtuvo en la segunda evaluación:

$$H = \beta_0 * (DAP^{\beta_1})$$

Donde

H= Altura (m).

DAP= Diámetro a la altura del pecho (cm).

$\beta_0$  y  $\beta_1$ = Coeficientes de regresión.

Los valores de los coeficientes ( $\beta_0$  y  $\beta_1$ ), se calcularon con el programa de SIGMA PLOT Produce High-quality Technical Graphs en su versión 12.0 tomando en cuenta los valores del Cuadro 3, diámetro y altura registrados en la segunda evaluación del 2008-2012 (Chaparro, 2014).

**Cuadro 3. Modelo para la estimación de alturas de *Picea mexicana* Martínez en dos poblaciones de Coahuila**

Modelo	$\beta_0$	$\beta_1$	R <sup>2</sup>
H= $\beta_0$ (DAP <sup><math>\beta_1</math></sup> )	0.8757	0.8582	0.8528

H: Altura total de árbol.

DAP: Diámetro a altura del pecho.

$\beta_0$ ,  $\beta_1$ : Coeficiente de regresión.

R<sup>2</sup>: R Cuadrada.

Columna 5. Registro de volúmenes por categoría diamétrica, las estimaciones se calcularon mediante el uso de tabla de volumen, con la ecuación  $V = 0.00239 D^2H + 0.06439$  (Alexander, 1987), las unidades de medidas se transformaron de centímetros a pulgadas para el diámetro (D), de metros a pies para la altura (H) y el volumen se transformó de pies cúbicos (ft<sup>3</sup>) a metros cúbicos (m<sup>3</sup>).



Columna 6. De la columna 6-10, se tiene el registro en porcentaje de las especies totales por sitio de muestreo.

Columna 11. De la columna 11-15 se contabilizaron los ejemplares de incorporación y cambios de categorías.

Columna 16. Se obtiene de la suma de las columnas 11, 14 y 15.

Columna 17. Se calcula con la multiplicación de la columna 5 y 16.

Columna 18. Se obtiene al multiplicar la columna 3 con la 5.

### **3.5 Cálculo de incrementos anuales**

El volumen generado a través del Cuadro 4 de cada sitio, se tomó como base para el cálculo de volumen anual por hectárea por población, esta información se recopiló, exploró y representó, por medio de la siguiente ecuación (Chaparro, 2014).

$$I.A = \left( \frac{(\sum V^2 - \sum V^1)}{N} \right)$$

Donde:

I.A= Incremento anual (m<sup>3</sup>/ha).

V<sup>2</sup>= Volumen total de la segunda evaluación (m<sup>3</sup>/ha).

V<sup>1</sup>= Volumen total de la primera evaluación (m<sup>3</sup>/ha).

N= Número de años transcurridos entre la segunda y tercera evaluación (año).

Considerando que el procedimiento para el análisis de comparación de medias se desarrolla bajo criterios que dependen de la naturaleza de los datos ya que se exponen las hipótesis, estas pueden ser bajo una base paramétrica o una base no paramétrica, así como de considerar la cantidad de información que se tiene y los grupos “básicamente de las características inherentes a la variable que deseamos analizar” para ello deben de cumplir con ciertos supuestos como la normalidad de la distribución de los datos, la homocedasticidad, y la

independencia de los datos (Moral, 2012). Por esta razón, se definió el siguiente análisis estadístico.

Los incrementos obtenidos de cada sitio, son de dos poblaciones pequeñas independientes, para analizar las diferencias que existen entre poblaciones normales se compararon las medias de los incrementos entre los sitios de ambas poblaciones, para lo cual se realizó una prueba de normalidad mediante la prueba de Shapiro-Wilk, Anderson-Darling y Shapiro-Francia (Yap y Sim, 2011) corroborando la normalidad con ayuda de la gráficos cuantil cuantil (qqPlot) y finalmente se comprobó la homogeneidad de varianzas de los incrementos anuales con el programa SAS (2021) de muestras independientes, el estadístico que se contrastaron fue el valor de F contra el valor de p-value (Sánchez, 2015; Mervyn y Kenneth, 2018).

Para comparar dos poblaciones de muestras aleatorias independiente y conocer la diferencia se aplicó la prueba paramétrica de comparación de medias, donde los datos cumplen los supuestos para la prueba t de Student, planteando una hipótesis nula de igualdad de medias, contra la hipótesis alterna que engloba la existencia de un rasgo de diferencia (Wackerly *et al.*, 2009; Flores-Ruiz *et al.*, 2017):

$$t = \frac{[\bar{x}_1 - \bar{x}_2]}{\sqrt{\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}}}$$

Donde:

T = t de Student o Estadístico t calculado.

$\bar{x}_1$  y  $\bar{x}_2$  = medias muestrales.

$s_1^2$  y  $s_2^2$  = varianza de cada muestra.

$n_1$  y  $n_2$  = número de elementos de las muestras.

**Cuadro 4. Ejemplo de cálculo de incremento del sitio seis de *Picea mexicana* de la población de la Sierra La Marta, Rayones, Nuevo**

**León**

Especie	DAP (cm)	H (m)	No. De árboles en 1000 m <sup>2</sup>	Volumen por árbol* (m <sup>3</sup> )	Probabilidad					Número de árboles /1000 m <sup>2</sup>					Predicción número de árboles en 1000 m <sup>2</sup>	Volumen (V2) en 1000 m <sup>2</sup>	Volumen (V1) en 1000 m <sup>2</sup>
					Nueva clase diamétrica	Mortalidad	Sin cambio	5 cm	10 cm	Nueva clase diamétrica	Mortalidad	Sin cambio	5 cm	10 cm			
<i>Picea mexicana</i>	55	27.29	0	2.84	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2.84	0.00
<i>Picea mexicana</i>	50	23.00	1	2.23	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0.00	2.23
<i>Picea mexicana</i>	30	16.22	0	0.50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0.50	0.00	
<i>Picea mexicana</i>	25	17.00	1	0.51	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0.00	0.51	
<i>Picea mexicana</i>	20	11.45	0	0.16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0.32	0.00	
<i>Picea mexicana</i>	15	10.50	4	0.08	0.25	0	0.25	0.5	0	1	0	1	2	0	2	0.17	0.34
Total			6	6.32	0.25	0	0.25	2.5	0	1	0	1	4	0	6	3.83	3.07
Columna 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18

DAP: Diámetro tomado a 1.30 m de altura del árbol.

V2: Volumen proyectado con los datos de nuevo registro 2019.

V1: Volumen proyectado con datos del 2012 y 2013.

H: Altura de árbol (m).

\*Para el cálculo de volumen se utilizó la ecuación de Alexander (1987); fue necesario transformar los diámetros de centímetros (cm) a pulgadas (in), la altura (H) de metros (m) a pies (ft) y el volumen de pies cúbicos (ft<sup>3</sup>) a metros cúbicos (m<sup>3</sup>).

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 Probabilidad de cambio de categoría por población de *Picea mexicana*

Los cambios de categoría que se encontraron a nivel sitio están agrupados en número total de mortalidad, cambio de categoría, sin cambio e incrementos.

#### 4.1.1 Probabilidad de cambio de categoría de la población del Sierra del Coahuilón, Arteaga, Coahuila

La población reporta menor número de árboles de 290 árboles ha<sup>-1</sup>, esto puede ser atribuido a diferentes factores climáticos o antropológicos, entre los observados y reportados por el equipo técnico de campo, en el análisis de datos (Cuadro 5), se obtuvo una mortalidad del 3.4 % para el sitio uno, con exposición norte y siendo este sitio donde se tiene un único ejemplar de *Picea mexicana* registrado, la causa de la mortalidad fue causada por la extrema e intensa sequía del periodo 1850-1884 impactando en gran parte del país, pero sobre todo se manera drástica al norte de México (Cerano *et al.*, 2011).

La ausencia de los organismos de un cierto lugar puede ser por el efecto de diversos factores que lo acercan a sus límites de tolerancia, de la población total un 44.8% no presentaron ningún tipo de cambio, debido a su lento crecimiento, sumado a esto el aumento de las temperaturas que se han notado en los últimos años, afectando el desarrollo óptimo de la altura de los árboles (Cervantes, 2014), se reflejó un cambio de categoría del 51.7% , este cambio se nota por la apertura del dosel y claros, se refleja en el ritmo de crecimiento y tolerancia a la sombra (López-Hernández *et al.*, 2017). En las observaciones dentro del área de estudios existen restos del incendio forestal de 1975 (Olvera, 1998) para la población Sierra La Marta, así como de lesiones en el fuste por el incendio registrado en 2011 para la Población Sierra El Coahuilón (Chaparro, 2014; SEMA, 2020), donde se consumieron 85

hectáreas, 75 de matorral y 10 hectáreas de árboles (FAO, 2021) todos los individuos que integran la población *Pinus rudis*, *Picea mexicana* y *Pseudotsuga menziesii*, en su mayoría presentan un cierto grado de daños en fuste, ramas y copas, entre las que podemos mencionar fuste por lesión de rocas, incineración, quemaduras y sin parte de copa superior, la variación parcial de cada individual influye la circunstancia ambiental, siendo más influyentes el relieve y la localización geográfica (Riesco *et al.*, 2006).

La distribución de la población en esta parte de la sierra se encuentra con exposición norte principalmente, con escasos árboles en posición cenital; los árboles que estén fuera de la exposición norte estarán en condiciones más difíciles de subsistir, ya que las condiciones ecológicas de *Picea mexicana* es exposición norte (prácticamente franca) y con pendientes fuertes (>40%) donde la mayor parte de día reciben sombra, que son las condiciones ideales para desarrollarse, y desde luego la altitud mayor de 3000 msnm (Ledig *et al.*, 2000; Yerena *et al.*, 2012; Flores, 2014).

#### 4.1.2 Probabilidad de cambio de categoría de la población del Sierra de la Marta, Rayones, Nuevo León

En la población de acuerdo a los resultados concentrados en el Cuadro 5, se encontró con una probabilidad del 0% de mortalidad, pero con observaciones de lesiones por roca, líquenes, rastro de incendios, 54.39% de los árboles no manifestaron cambios de categoría, pero si hubo un incremento dentro de los intervalos de categorías los cuales están a cada 5 cm ,llegando a los límites superiores este tipo de crecimiento lento se debe a que la influencia altitudinal hace que se tenga un desarrollo lento, además de que la especie se desarrolla de manera más rápida cuando es joven (Gutiérrez *et al.*, 1998) y un 45.61% tuvo cambio de categoría, este porcentaje de cambio está siendo afectado por el cambio climático ya que no se encuentran las condiciones para su desarrollo (Ávila, 2007).

Aunque las condiciones se acercan a las favorables, de pendientes pronunciadas mayores a 45%, exposición norte y altitud arriba de los 3300, el número de árboles es mayor en comparación al vecino El Coahuilón, otras especies en asociación fueron *Pseudotsuga*

*menziesii*, *Abies vejarii* y *Pinus rudis*, el trabajo de Chaparro (2014) menciona un 15 % de cambio de categoría, en esta nueva evaluación aumentó un 31%.

#### 4.1.3 Comparación de probabilidad de cambio de categoría entre poblaciones, La Marta, Rayones, Nuevo León y El Coahuilón, Arteaga, Coahuila

Las dinámicas de las poblaciones comparando la mortalidad, los nulos cambios y los cambios, la fluctuación por los recursos y la estabilidad se debe a la falta de condiciones idóneas para la permanencia de la especie, tomando en cuenta la sequía del 2011 -2012 (Giner *et al.*, 2012), esta situación se genera a partir de los cambios climáticos que dan lugar a una variación en las temperaturas y reduciendo las temporadas de lluvias, alterando los ciclos hidrológico (Mendoza-Hernández *et al.*, 2013; Real, 2016), afectando la distribución y el número de especies (Lara, 2017).

De acuerdo con el Cuadro 5, los resultados indican que la mortalidad en El Coahuilón se redujo a un 22% a comparación de la segunda evaluación durante este periodo llegando al 2019, no se han reportado incendios de gran magnitud en la zona (SEMA, 2018), se registraron 4% menos de árboles que se mantuvieron sin cambio de categoría y un 25 % de la población cambio de categoría.

La población de La Marta (Cuadro 5) se mantuvo durante este periodo del 2012-2019, con 0% de mortalidad, se redujo un 33% los individuos que no cambiaron de categoría diamétrica, y aumentó un 31% el cambio categoría. Flores-López (2005) determinó la viabilidad de tres poblaciones de *Picea mexicana*, La Marta, N. L, Mohinora, Chih. y El Coahuilón, Coah. Se encontró un alto grado de endogamia, baja eficiencia de semillas y una alta proporción de óvulos abortados, debido a la baja densidad de árboles, lo que puede dar como consecuencia en este trabajo una baja incorporación de árboles en los sitios, principalmente en la población Sierra El Coahuilón, que tiene menor cantidad de individuos.

**Cuadro 5. Probabilidades de mortalidad y cambios de categorías diamétricas entre poblaciones de *Picea mexicana* en dos poblaciones de la Sierra Madre Oriental.**

<b>Población</b>	<b>Mortalidad</b>	<b>Sin cambio</b>	<b>Cambio de categoría</b>
	<b>%</b>	<b>%</b>	<b>%</b>
La Marta 2008-2012	0	85	15
La Marta 2012-2019	0	54	46
El Coahuilón 2008-2013	25	49	27
El Coahuilón 2013-2019	3	45	52

#### **4.2 Comparación de incremento corriente anual en volumen entre poblaciones de *Picea mexicana***

En el Cuadro 7 se agruparon los incrementos obtenidos de ambas poblaciones, El Coahuilón con un total de  $9.78 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  en un lapso de 6 años, en el sitio uno registró  $0.0 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ , el sitio dos registró el menor volumen a nivel población y el sitio cuatro registra el mayor volumen de  $4.03 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ , en la población de La Marta se encontraron con dos sitios (uno, tres) con altos volúmenes, donde se tiene el mayor pendiente con exposición norte franco, la población genera un total de  $9.23 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ , a pesar del número de individuos que la integran, el volumen es similar a la población del El Coahuilón, tomando en cuenta que La Marta se estimaron  $600 \text{ árboles ha}^{-1}$  con una distribución espacial más cerrada que El Coahuilón con  $290 \text{ árboles ha}^{-1}$ .

Como se mencionó anteriormente se llevó a cabo la prueba estadística t de Student, declarando el rechazo de alguna de las hipótesis planteadas, en la prueba de distribución de normalidad de datos de incrementos las tres pruebas afirman que las medidas registradas en ambas poblaciones de La Marta y El Coahuilón en el 2019, presentan una distribución normal (Cuadro 6) ya que las pruebas obtuvieron un valor mayor a la significancia, se corroboró la distribución de dichos datos mediante el gráficos cuantil cuantil (qqPlot) comprobando de esta manera que la distribución de los datos se encuentra sobre la línea graficada (Apéndice 1), la homogeneidad de varianza de los datos de incrementos indica que son iguales ya que en el test t de igual de varianzas se tiene que F valor= 5.52 y  $P > F = 0.0842$ , lo que indicó tener

una varianza iguales, apoyándose en la visualización gráfica de medias del Apéndice 2 que afirman que las varianzas son iguales.

**Cuadro 6. Pruebas de Normalidad**

<b>Pruebas de normalidad</b>	<b>Estadísticos</b>	
Shapiro-Wilk	W= 0.93018	P-valor = 0.382
Anderson-Darling	A= 0.34163	P-valor= 0.4293
Shapiro-Francia	W= 0.94376	P-valor = 0.4644

W= Shapiro-Wilk, A= Anderson-Darling, W= Shapiro-Francia, P-valor= 0.05, P-valor= Significancia (0.05).

La prueba t de Student al ser ejecutado en el programa estadístico R Studio se obtuvo un valor de  $t= 0.115$ , con 6.75 grados de libertad y un valor de  $P= 0.911$ , lo cual es mayor a 0.05 por lo tanto no se rechaza la hipótesis nula y una diferencia entre medias de cero. Por lo tanto, no hay diferencia estadística significativa del Incremento Corriente Anual entre la población de La Marta (2012-2019) y El Coahuilón (2013-2019), en el Cuadro 7 se aprecian los incrementos obtenidos para cada población con una media de  $1.54 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  para La Marta, una desviación estándar de  $0.76 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  y para El Coahuilón  $1.63 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  con una mayor dispersión de datos de acuerdo con su desviación estándar de  $1.79 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ .

El trabajo de Chaparro (2014) del periodo de evaluación del 2008-2012 para La Marta y del 2008-2013 para el Coahuilón, indica que no existe una diferencia significativa en la comparación de incremento en volumen entre estas dos poblaciones, argumenta que el tipo de clima y la falta de tratamientos silvícolas son factores que influyen en el crecimiento de los bosques, ya que sin tratamiento silvícola el incremento en área basal es notorio en un periodo de diez años (Cid *et al.*, 2013). López (2009) en su trabajo sobre *Picea mexicana* describe que los modelos de crecimiento presentan cierto sesgo de ajuste debido al ritmo de crecimiento de los árboles dentro y entre las poblaciones influenciado por el tipo de suelo, considerando el alto grado de endogamia en ambas poblaciones, como resultado se tienen un significativo número de óvulos abortados y un bajo porcentaje de germinación (Flores-López *et al.*, 2005; Rivas-Ruiz *et al.*, 2013).



Los daños encontrados en la población de El Coahuilón de despunte de la copa por causas desconocidas (Ledig *et al.*, 2000), aún permanecen y se notaron en esta tercera evaluación, esta característica afecta al mayor número de árboles de *Picea mexicana* generando árboles vigorosos y de poca altura, lo cual puede mermar el volumen, sumando el corto intervalo entre evaluaciones, ya que para notar alguna diferencia de incrementos es adecuado compararlo con un tiempo más prolongado después de 10 años (Cid *et al.*, 2013).

**Cuadro 7. Incremento Corriente Anual en volumen por hectárea por sitio**

<b>Población</b>	<b>El Coahuilón</b>	<b>La Marta</b>
Sitio	ICA 2013-2019 (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> )	ICA 2012-2019 (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> )
1	0.00	2.48
2	0.06	0.79
3	0.10	2.35
4	4.03	0.79
5	2.93	1.72
6	2.66	1.09
s	1.79	0.76
s <sup>2</sup>	3.20	0.58
C. V.	1.10	0.50
$\bar{x}$	1.63	1.54
Total	9.78	9.23

ICA= Incremento Corriente Anual.

$\bar{x}$  = Promedio, expresado en m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>.

s<sup>2</sup>=Varianza .

s = Desviación estándar (m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>).

C.V. =Coeficiente de Variación.

La asociación de especies como *Pseudotsuga menziesii*, y *Picea mexicana* puede generar datos e información que ayuden a interpretar el comportamiento de crecimiento e incremento (Cervantes, 2014), *Pseudotsuga menziesii* es una especie sensible a los ciclos climáticos y muestran anillos de crecimiento definidos, el trabajo de Castruita-Esparza (2015) explica la periodicidad biológica y pronosticar su crecimiento y la correlación con la precipitación, los resultados muestran una periodicidad de crecimiento de 7, 21, 27 y 60 años, las proyecciones sugieren una disminución del incremento del área basal debido al estrés hídrico, lo que sugiere que existe un variabilidad climática y pone en riesgo a los bosques del norte de México, lo cual podemos comprobar con la nula diferencia de incrementos entre poblaciones debido al estrés hídrico (Interián-Ku *et al.*, 2014).

## 5. CONCLUSIONES

Se rechaza la hipótesis alterna, al no existir diferencia estadística significativa en los incrementos en volumen para la especie de *Picea mexicana* para la población de La Marta en el periodo 2012-2019 y El Coahuilón 2013-2019.

Los efectos de la sequía de los años anteriores aún permanecen las secuelas en ambas poblaciones, pero se hace notar más en la población del El Coahuilón ya que se presenta menor cantidad de individuos de *Picea mexicana*.

La presencia de mayor cantidad de individuos registrados en la población de La Marta puede ser resultado posible de múltiples factores medioambientales, de la pendiente, exposición al norte franco y la altitud que favorecen el desarrollo de la especie.

## 6. RECOMENDACIONES

Se debe de profundizar sobre la investigación y estudio de la ecología, en la codependencia con las especies asociadas, los requerimientos ambientales.

Se requiere la elaboración de tablas de volumen de *Picea mexicana* para generar información más puntual.

Considerar un plan de manejo forestal para el rescate y saneamiento de ejemplares muerto y plagados, incluyen la delimitación del polígono de la población, el cercado y labores de restauración genética.

## 7. LITERATURA CITADA

- Aguilar-Ramírez, M. y Villa-Salas A, B. (1995). Rutinas de cálculo de once métodos para determinar el incremento en volumen de coníferas. *Ciencia forestal en México*. 20(77): 151-192.
- Aguirre-Bravo, C., Eskew, L., González-Vicente, C. E., Villa-Salas, A. B. (1994). Cooperación social para el manejo sostenible de los ecosistemas forestales, Quinto Simposium Bienal México-Estados Unidos. United Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Forest, and Range Experiment Station. 218 p.
- Alexander R., R. (1987). Ecology, silviculture, and management of the Engelmann Spruce Subalpine Fir Type in the Central and Southern Rocky Mountains. *Agriculture Handbook*, 144 p.
- Alvarado, C. y Groothousen, C. (2000). Las parcelas de muestreo permanente: bases para estudios de crecimiento y rendimiento en bosques de pino de Honduras. *Escuela Nacional de Ciencias Forestal ESNACIFOR*, 84 p.
- Avery E., T. y Burkhart E., B. (2002). *Forest Measurements*. Mc Graw-Hill. Fifth edition. Boston Burr Ridge. 448 p.
- Caballero, M., Lozano-García, S., Vázquez-Selem, L., y Ortega, B. (2010). Evidencias de cambio climático y ambiental en registros glaciales y en cuencas lacustres del centro de México durante el último máximo glacial. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 62(3): 359-377.
- Castruita-Esparza, L. U., Correa-Díaz, A., Gómez-Guerrero, A., Villanueva-Díaz, J., Ramírez-Guzmán, M. E., Velázquez-Martínez, A., y Ángeles-Pérez, G. (2015). Basal area increment series of dominant trees of *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco show ériodicity according to global climate patterns. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 22(3): 379-397.

- Cerano P., Julián., Villanueva D., J., Valdez C., R. D., Méndez G., J. y Constante G., V. (2011). Sequías reconstruidas en los últimos 600 años para el noreste de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 2(2): 235-249.
- Cervantes A., G. E. (2014). Crecimiento de Pináceas asociadas a poblaciones naturales de *Picea mexicana* Martínez en México. tesis de licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila, México. 94 p.
- Chaparro G., L. E. (2014). Incremento de volumen de arbolado de sitios permanentes establecidos en poblaciones de *Picea mexicana* Martínez en México. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo, Coahuila, México. 76 p.
- Chediack S, E. (2009). Monitoreo de biodiversidad y recursos naturales: ¿para qué? México, D.F.: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Serie Diálogos 3: 1-85.
- Cid L., D., Iturbidem M., C., Araujo P., A., y Gonzales G., C. (2013). Crecimiento de área basal en parcelas permanentes de inventarios forestales continuo. *Quebracho*. 21(1,2): 115-120 p.
- CONAFOR. (2018). Inventario nacional forestal y de suelos: Informe de Resultados 2009-2014. Primera edición. Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). 153 p.
- CONAFOR. (2020). Reglas de operación del programa apoyos para el desarrollo forestal sustentable 2021. Diario Oficial. Última reforma 30 de diciembre del 2020. 230 p.
- Contreras, F. (1998). ¿Cómo determinar de tasa de crecimiento de los árboles?, Bolfor: Proyecto de manejo forestal sostenible, Notas Técnicas. 2(2): 1-2.
- Contreras, F., Leño, C., Licona, J. C., Dauber, E., Gunnar, L., Hager, N., y Caba, C. (1999). Guía para la instalación y evaluación de parcelas permanentes de muestreo (PPMs). Proyecto de Manejo Forestal Sostenible (BOLFOR). 37 p.
- Corral-Rivas, J., J., Vargas-Larreta, B., Wehenkel, C., Aguirre-Calderón, O. A. y Crecente-Campo, F. (2013). Guía para el establecimiento, seguimiento y evaluación de sitios

- permanentes de monitoreo en paisajes productivos forestales. CONAFOR-CONACYT. 93 p.
- Cortés M., C. y Fernández V., E. (2021). Guía para el buen manejo forestal en la Sierra Madre Occidental. Ciudad de México: Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID). 47 p.
- Delgado, D., Finegan, B., Martin, M., Acosta, M., Carrillo, F., Hernández, T., Bejarano, L., Nieto, V., Lara, D., y Ribalaygua, J. (2016). Análisis de vulnerabilidad al cambio climático de bosques de montaña en Latinoamérica: Un punto de partida para su gestión adaptativa. Serie técnico. Informe técnico. 406. 54 p.
- FAO. (2017). directrices voluntarias sobre: monitoreo forestal nacional. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). 90 p.
- FAO. (2018). Fortalecimiento de los sistemas nacionales de monitoreo de los bosques para REDD+. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). Documento de trabajo sobre monitoreo y evaluación de los recursos forestales nacionales 47. 48 p.
- FAO. (2021). Agronoticias: Actualidad agropecuaria de América Latina y el Caribe. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). Consulta el 9 de noviembre del 2021, Obtenido de <https://www.fao.org/in-action/agronoticias/detail/es/c/506566/>
- Farjon, A. (2017). A handbook of the world's conifers. Second Edition. Bill Leiden-Boston, USA. Vol. (1,2): 7-1113.
- Flores-Ruiz, E., Miranda-Novales, M. G. y Villasís-Keeve, M. A. (2017). El protocolo de investigación VI: Cómo elegir la prueba estadística adecuada. Estadística inferencial. Revista Alergia México, 64(3): 364-370.
- Flores López, C. (2014). Líneas de Conservación de los Recursos Genéticos de *Picea mexicana* Martínez y *Picea martinezzi* Patterson. Tesis de grado científico de doctor. Universidad de Pinar del Río "Hermanos Saíz Montes de Oca". 90 p.

- Flores-López, C., Chaparro-Gómez, L. E., Valencia-Manzo, S. y Hernández-Ramos, A. (2019), Monitoreo de poblaciones de *Picea mexicana* Martínez y acciones de conservación en México, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Departamento Forestal. p 257.
- Flores-López, C., Geada-López, C. G., López-Upton, J., y López- Ramírez, E., (2013). Variación morfológica en poblaciones naturales *Picea mexicana* Martínez. Revista Forestal Baracoa.32(2): 3-9.
- Flores-López, C., López-Upton, J. y Vargas-Hernández, J. J. (2005). Indicadores reproductivos en poblaciones naturales de *Picea mexicana* Martínez. Agrociencia, 39(1): 117-126.
- FSC. (1996). Principios y criterios de FSC para el manejo Forestal, Estándar Internacional. Forest Stewardship Council A.C. 14 p.
- FSC. (2015). FSC Principles and criteria for Forest Stewardship, FSC International Standard, Forest Stewardship Council A.C., Bonn, Germany. 32 p. Consulta el 25 de enero del 2022, obtenido de <https://fsc.org/en/about-us>.
- García-Arévalo, A. (2008). Vegetación y flora de un bosque relictual de *Picea chihuahuana* Martínez del norte de México. Polibotánica. 25: 45-68.
- Giner, R. A., Fierro, L. C. y Negrete, L. F. (2012). Análisis de la problemática de la sequía 2011-2012 y sus efectos en la ganadería y la agricultura de temporal. Comisión Nacional de las Zonas Áridas. CONAZA, Saltillo, Coahuila. 12 p.
- Gómez L., J. A. (2007). Crecimiento e incremento de *Picea martinezii* T.F Patterson en tres poblaciones de Nuevo León. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo, Coahuila, México. 36 p.
- González E. M. S., González E., M., y Márquez L., M. A. (2007). Vegetación y ecorregiones de Durango. Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional (CIIDIR) Instituto Politécnico Nacional. 164 p.

- Gutiérrez M. E., Camarero J. J., Bosch, O., y Ribas, M. (1998). Tendencias recientes de crecimiento y la regeneración en bosques subalpinos del parque nacional D'aigüestortes I Estany de Sant Mauric. *Ecología* 12: 251-283.
- INEGI. (2009). Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos, Arteaga, Coahuila, México. Clave geoestadística 05004. Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 9 p.
- Interián-Ku V. M., Vaquera-Huerta, H., Valdez-Hernández, J. I., García-Moya, E., Romero-Manzanares, A., y Borja-De la Rosa, A. (2014). Influencia de factores morfológicos y ambientales sobre el crecimiento en diámetro de *Caesalpinia gaumeri* Greenm en un bosque tropical caducifolio, en México. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 20(3): 255-270.
- Kershaw A. J., Ducey J. M., Beer W. T. y Husch, B. (2017). *Forest mensuration*. 5ta edición. Chichester. Pondicherry, India. 592 p.
- Klepac, D. (1983). Crecimiento e incremento de árboles y masas forestales. Universidad Autónoma Chapingo. 297 p.
- Lara B. D. (2017). Determinación de cambios de distribución de especies por efectos del cambio climático en el parque municipal natural campo alegre y parque regional natural ucumari en Risaralda Colombia. Tesis de Maestría. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. 105 p.
- Ledig T. F., Hodgskiss D., P., Krutovskii V., K., Neale B., D. y Eguiluz-Piedra, T. (2004). Relationships among the Spruces (*Picea*, Pinaceae) of Southwestern North America. *Systematic Botany*. 29(2): 275-295.
- Ledig T. F., Mápula-Larreta, M., Bermejo-Velázquez, B., Reyes-Hernandez, V., Flores-López, C., y Capó-Arteaga, M. (2000). Locations of endangered spruce populations in México and the demography of *Picea chihuahuana*. *Madroño*, 47(2): 71-88.
- Ledig T. F., Rehfeldt, E. G., Sáenz-Romero, C., y Flores-López, C. (2010). Projections of suitable habitat for rare species under global warming scenarios. *Revista American Journal of Botany*. 97(6): 970-987.



- Loera-Martínez, J. y Sepulveda-Jiménez, D. 2015. Parámetros de la productividad forestal en la producción de madera en rollo. *In Ciencias Sociales: Economía y Humanidades: Handbook TI. ECOFRAN.* 177-186 p.
- López L. D. 2009. Crecimiento de *Picea mexicana* Martínez en las poblaciones naturales de México. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila. 68 p.
- López-Hernández, J. A., Aguirre-Calderón, Ó. A., Alanís-Rodríguez, E., Monarrez-Gonzalez, J. C., González-Tagle, M. A., y Jiménez-Pérez, J. (2017). Composición y diversidad de especies forestales en bosques templados de Puebla, México. *Madera y Bosques*, 23(1): 39-51.
- MacDonald L. H., Smart, A. W. y Wissmar, R. C. 1991. Monitoring guidelines to evaluate effects of forestry activities on streams in the Pacific Northwest and Alaska. Environmental Protection Agency. U.S.A. 177 p.
- Manzanilla B. H. (1993). Los sitios permanentes de investigación silvícola: Un sistema integrado para iniciarse en el cultivo de los ecosistemas forestales. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias. 101 p.
- Martínez, M. 1961. Una nueva especie de *Picea* en México. *Anales del Instituto de Biología UNAM* 32 (1-2): 137-142.
- Mendoza-Hernández, J. M., Zermeño-González, A., Covarrubias-Ramírez, J. M. y Cortés-Bracho, J. J. (2013). Proyecciones climáticas para el estado de Coahuila usando el modelo Precis bajo dos escenarios de emisiones. *Revista Agrociencia*. 47(6): 523-537.
- Mendoza-Maya, E., Espino-Espino, J., Quiñones-Pérez, C. Z., Flores-López, C., Wehenkel, C., Vargas-Hernández, J. J. y Sáenz-Romero, C. (2015). Propuesta de conservación de tres especies mexicanas de picea en peligro de extinción. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 38(3): 235-247.
- Mervyn G. M. y Kenneth J. K. (2018). *Statistical data analysis using SAS*, 2nd Edition, Springer Science+Business Media, LLC. 675 p.

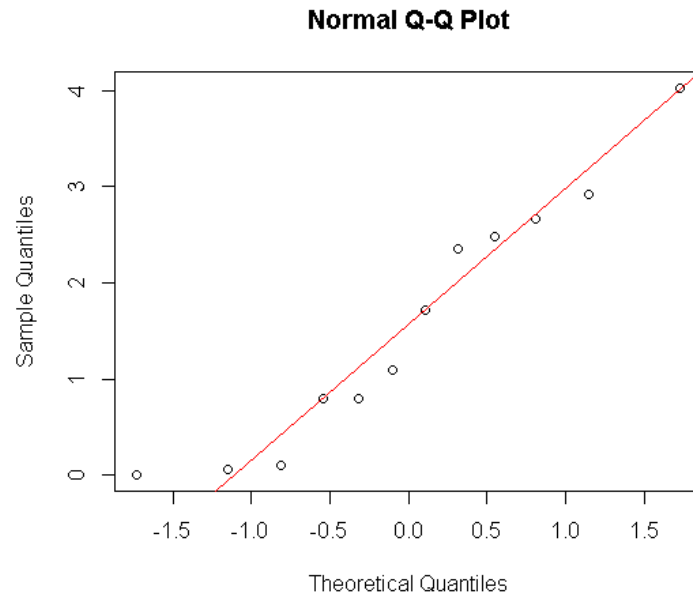
- Moral P., I. 2012. Comparación de medias. Sociedad Española de Enfermería Nefrológica. 20 p.
- Olvera R., E. M. (1998). Evaluación de la regeneración natural de coníferas en el área incendiada en 1975, en la Sierra La Marta, Arteaga, Coahuila. Tesis profesional Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. 108 p.
- Olvera V., M., Moreno G., S. y Figueroa R., B. (1996). Sitios permanentes para la investigación silvícola, Manual para su establecimiento. primera edición, Universidad de Guadalajara. Guadalajara, Jalisco, México. 57 p.
- Ortega-Argueta, A. y Contreras-Hernández, A. (2013). Propuesta de un esquema de seguimiento y evaluación para programas de recuperación de especies en riesgo. *Gestión y política pública*. 22(2): 457-496.
- Patterson, T. F. (1988). A new species of *Picea* (Pinaceae) from Nuevo León, México. *Sida, Contributions to Botany*, 13(2): 131-135.
- R Studio Equipo (2020). RStudio: Desarrollo integrado para R. RStudio, PBC, Boston, MA URL <http://www.rstudio.com/>.
- Real R., R. A. (2016). Monitoreo de sequías en México a través de índices multivariados. Tesis Profesional. Universidad Nacional Autónoma de México. 157 p.
- Riesco M., G., Remacha G., A. y Pedras S., F. 2006. Influencia de la situación geográfica y la fisiografía en la calidad de la madera de *Quercus robur* L. *Recursos Rurais*. 2(1): 57-65.
- Rivas T., D. (2006). Sistemas de producción forestal. Universidad Autónoma Chapingo. 4 p.
- Rivas-Ruiz, R., Moreno-Palacios, J., y Talavera O, J. (2013). Diferencia de medianas con la U de Mann-Whitney. *Revista Medicina del Instituto Mexicano del Seguro Social*, 51(4): 414-419.
- Romahn de la Vega, C. F. y Ramírez, M. H. (2010). Dendrometría. Serie de apoyo académico. Universidad Autónoma Chapingo (UACH). División de Ciencias forestales. México. 388 p.

- Rzedowski, J. (2006). Vegetación de México. Primera edición. Limusa, S. A. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México. 504 p.
- Salvador M, M., Pérez S, G., Chacón S, M. J., Álvarez P, A., Guerrero V, F., y Prieto A, J. A. (2019). El monitoreo forestal por medio de sitios permanentes de investigación silvícola en Chihuahua, México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 10(55): 57-78.
- Sánchez T., R. A., (2015). T-Student. Usos y abusos. *Revista Mexicana de Cardiología*.26(1): 59-61.
- SAS, Stastical Analysis System, (2021), Análisis estadísticos, SAS Institute Inc. Consultado el 25 de enero octubre del 2022 en: [https://www.sas.com/es\\_mx/insights/analytics/statistical-analysis.html](https://www.sas.com/es_mx/insights/analytics/statistical-analysis.html).
- SEMA. (2018). Programa estatal de medio ambiente. Gobierno del Estado de Coahuila de Zaragoza. Saltillo, Coahuila de Zaragoza, México. 70 p. Consultado el 21 de diciembre del 2022. Disponible: <https://coahuila.gob.mx/archivos/pdf/micrositio/Programas%20Sectoriales/Programa%20Estatal%20de%20Medio%20Ambiente.pdf>.
- SEMA. (2020). Reporte semanal nacional de incendios forestales, Coordinación General de Conservación y restauración Gerencial de Manejo del Fuego. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México. 22 p. Consulta el 25 de enero del 2022. Disponible: <https://www.gob.mx/conafor/documentos/reporte-semanal-de-incendios>
- SEMARNAT. (2010). NORMA Oficial Mexicana-059-SEMARNAR. Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-lista de especies en riesgo. Diario Oficial de la Federación fecha de publicación. 30 de diciembre del 2010.1-77p.Fecha de consulta 21 de diciembre del 2022. Disponible en: [http://www.profepa.gob.mx/innovaportal/file/435/1/NOM\\_059\\_SEMARNAT\\_2010.pdf](http://www.profepa.gob.mx/innovaportal/file/435/1/NOM_059_SEMARNAT_2010.pdf).
- Thomas, P. (2019). *Picea mexicana*. Threatened conifers of the world. <https://threatenedconifers.rbge.org.uk/conifers/picea-mexicana>. consulta el 21 de Noviembre 2022.

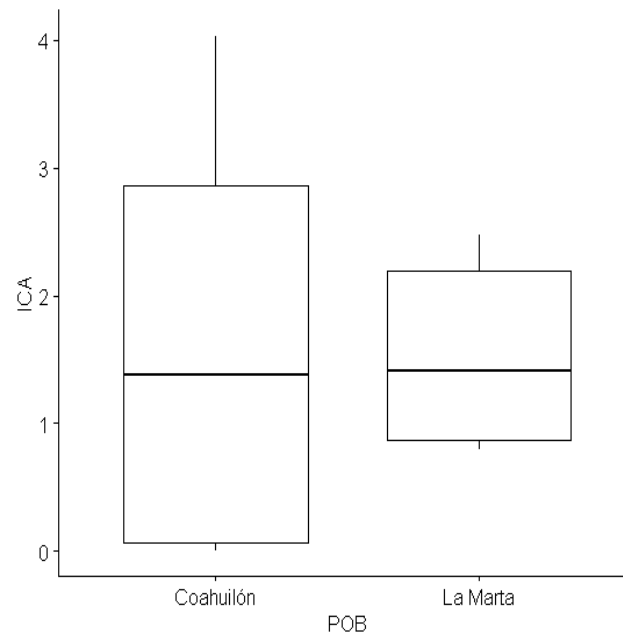
- UNAM. (2021). *Picea mexicana* Martínez. Herbario Nacional de México (MEXU), Tipos de Plantas Vasculares Isotipo, consultado el 25 de enero de 2022, disponible: <https://datosabiertos.unam.mx/IBUNAM:MEXU:T2572>.
- Wackerly D, D., Mendenhall II, W. y Scheaffer L. R. (2009). Estadística matemática con aplicaciones, 7° Edición, CENGAGE Learning. 896 p.
- West P, W. (2015). Tree and forest measurement. Springer. 3° edición. New South Wales. Australia. 209 p.
- Yap B. W. y Sim C. H. (2011). Comparisons of various types of normality test, Journal of Statistical Computation and Simulation, 81(12): 2141-2155.
- Yerena Y., J. I., Jiménez P., J., Aguirre C., Aguirre C., O. A., Treviño G., E. J. y Alanís R., E. (2012). Concentración de carbono en el fuste de 21 especies de coníferas del noreste de México. Revista Mexicana de Ciencias Forestales. 3(13): 49-56.
- Zianis D., Muukkonen, P., Mäkipää, R., y Mencuccini, M. (2005). Biomass and stem volumen equations for tree species in Europe. Silva Fennica Monografia 4. 63 p.

## APÉNDICE

**Apéndice 1:** Gráfica Cuantil Cuantil (QQplot) de distribución de datos de incrementos  $\text{m}^3\text{ha}^{-1}$  de la población de La Marta y El Coahuilón.



**Apéndice 2:** Gráfica de cajas de incremento de *Picea mexicana*.



ICA= Incremento Corriente Anual ( $\text{m}^3\text{ha}^{-1}$ ); POB= Poblaciones de *Picea mexicana*.