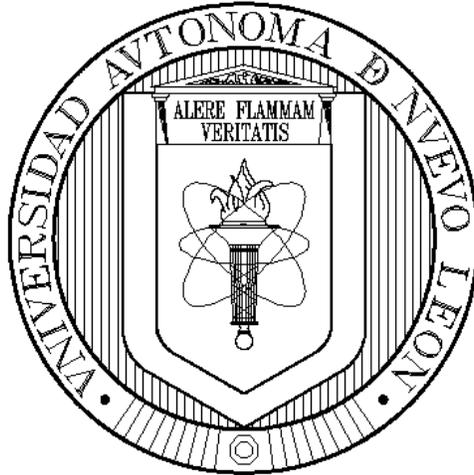


**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN  
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES**



**FENOLOGÍA Y POTENCIAL DE ALMACENAMIENTO DE CARBONO DE  
*PICEA MARTINEZII* T.F. PATTERSON EN ECOSISTEMAS  
FORESTALES DE NUEVO LEÓN**

**POR**

**ING. VALERIA ARACELI VALDES CASTILLO**

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

**AGOSTO, 2018**

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



**FENOLOGÍA Y POTENCIAL DE ALMACENAMIENTO DE CARBONO DE  
*PICEA MARTINEZII* T.F. PATTERSON EN ECOSISTEMAS  
FORESTALES DE NUEVO LEÓN**

**POR**

**ING. VALERIA ARACELI VALDES CASTILLO**

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

**AGOSTO, 2018**

**FENOLOGÍA Y POTENCIAL DE ALMACENAMIENTO DE  
CARBONO DE *Picea martinezii* T.F. PATTERSON EN  
ECOSISTEMAS FORESTALES DE NUEVO LEÓN**

**Aprobación de Tesis**



---

Dr. Eduardo Javier Treviño Garza

Director



---

M.C. José Israel López Martínez

Codirector



---

Dr. Luis Gerardo Cuéllar Rodríguez

Asesor



---

Dr. José Israel Yereña Yamalle

Asesor

**Agosto, 2018**

## AGRADECIMIENTOS

A la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma de Nuevo León, por aceptarme en su programa de Maestría en Ciencias Forestales.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca que me otorgó para realizar la Maestría en Ciencias Forestales.

A mi Director de tesis el Dr. Eduardo Javier Treviño Garza, por guiarme con gran sabiduría, por su invaluable amistad y todo su apoyo.

Al M.C. José Israel López Martínez, por aceptar formar parte de mi comité, por todo su apoyo y su valiosa amistad.

Al Dr. Luis Gerardo Cuellar Rodríguez, mi asesor de tesis, por su apoyo y consejos durante mi estancia en la Facultad.

Al Dr. José Israel Yerena Yamallel, por aceptar formar parte de mi comité y por sus acertados comentarios para la elaboración de la tesis.

Al M.C. Enrique Buendía Rodríguez, por sus buenos consejos y sobre todo por su valiosa amistad.

Al Ing. Jesús Manuel Rascón Ayala por su apoyo y aportación para la realización de esta tesis.

Al Ing. Margarito Martínez Dávila y al Ing. Pablo Espinoza Rivera, asesores técnicos en el Ejido la Encantada en el Municipio de General Zaragoza, gracias por su ayuda brindada.

Al Sr. Pablo Hernández, Comisario Ejidal de la Encantada en el Municipio de General Zaragoza, gracias por su apoyo y ayuda brindada en nuestra estadía.

Al Dr. Luis Rocha Domínguez por el apoyo en la identificación de las especies.

A Humberto Alonso López Alejandro por todo su gran apoyo de logística para las salidas de campo y por su valiosa amistad.

A mi equipo de trabajo en campo Humberto López, Israel López, Rigoberto González, Miguel Treviño, Selena Palomino, gracias por todo su apoyo y su disposición.

A mis amigos y compañeros de posgrado que nos apoyamos mutuamente en nuestra formación profesional y que hasta ahora, seguimos siendo amigos: Enrique Buendía, Israel López, Vicente Muñoz, Edwin Verdugo, Silvia Béjar, Rebeca Zavala, Jesús Silva, Jesús Rascón, Ezequiel Elizondo, Edmar Meléndez, Eduardo Pérez, Prudencia Caballero, Esperanza Morales, Nelly Leal, Ana Lizcano, Rigoberto González, Angelina Bautista.

## DEDICATORIAS

A mi mamá Araceli Castillo Martínez, por darme su apoyo y su amor infinito, por enseñarme a vivir y a reír con el mundo. Te amo Mamá.

A mi hermanita Naohmy Elizabeth Valdes Castillo, por estar ahí en los momentos difíciles, por tu cariño incondicional y alentarme con su alegría.

A mis abuelos José Ángel Castillo Ortiz y Ma. Elisa Martínez Ramírez por su cariño y por apoyarme siempre.

A mis tíos Ma. de los Ángeles Castillo Martínez, William F. Lossman (+), Norma E. Castillo Martínez y José Ángel Castillo Martínez por ser un sostén muy importante en mi vida y ayudarme a ver lo bueno de cada momento, para crecer y salir adelante.

“El camino no ha sido fácil, pero la experiencia que gané es invaluable.  
Gracias por todo este tiempo”.

## RESUMEN

Con el propósito de contribuir al entendimiento del papel ecológico de *Picea martinezii* T.F. Patterson como almacenamiento de carbono, debido al tamaño reducido de sus poblaciones y se encuentra en la Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010 en la categoría de peligro de extinción. Se estableció cuatro sitios permanentes de muestreo de 50 x 50 m (2500 m<sup>2</sup>) en Agua de Lardín en el municipio de Aramberri, El Butano en el municipio de Montemorelos, La Cañada El Bosque y La Cañada La Tinaja en el municipio de General Zaragoza en el estado de Nuevo León. A todos los individuos arbóreos se les midieron las variables dendrométricas: el diámetro (DAP) y la altura total (h). Se hizo un análisis de los datos obtenidos para determinar la diversidad de especies mediante el índice del valor de importancia (IVI), el índice de Jaccard, además la estructura se evaluó mediante la distribución de diámetros para la distribución horizontal y el índice (A) de Pretzsch, para la distribución vertical de especies. Además, mediante los datos obtenidos en campo se utilizó la información para elaborar una tabla de volumen de la especie aplicando diferentes modelos matemáticos ensayados, una vez obtenido el volumen por categoría diamétrica se calculó el contenido de carbono mediante una ecuación alométrica, y esta a su vez permitió estimar la producción de oxígeno que esta especie brinda. Este estudio aporta las bases para el entendimiento y manejo sustentable de los recursos naturales, bajo el principio de los servicios ambientales.

**Palabras clave:** *Picea martinezii* T.F. Patterson, diversidad, estructura, índice de Pretzsch, carbono, oxígeno.

## ABSTRACT

With the purpose to contribute to the understanding of ecological role of *Picea martinezii* T.F. Patterson as carbon storage, due to the small size of its populations and is in Official Mexican Standard NOM-059-SEMARNAT-2010 in the category of danger of extinction. Four permanent sampling sites of 50 x 50 m (2500 m<sup>2</sup>) were established in Agua de Lardín in the municipality of Aramberri, El Butano in the municipality of Montemorelos, La Cañada El Bosque and La Cañada La Tinaja in the municipality of General Zaragoza is the state of Nuevo León. The dendrometric variables were measured for all tree individuals: diameter (DAP) and total height (h). (IVI), the Jaccard index, the structure was evaluated by the distribution of the diameters for the horizontal distribution and the Pretzsch index (A) for the vertical distribution of species. A table of volume of the species was compiled and the carbon content calculated as well as the production of this kind of fuel as oxygen.

Keywords: *Picea martinezii* T.F. Patterson, diversity, structure, Pretzsch index, carbon, oxygen.

## ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA.....	i
AGRADECIMIENTOS.....	ii
RESUMEN.....	iv
ABSTRACT.....	v
ÍNDICE DE FIGURAS.....	ix
ÍNDICE DE CUADROS.....	ix
CAPITULO I.....	4
1. Introducción general.....	4
1.1 Antecedentes.....	7
1.2 Justificación del estudio.....	10
1.3 Hipótesis General.....	10
1.4 Objetivo General.....	10
CAPITULO II.....	11
2. Fenología y caracterización de la estructura arbórea en poblaciones de <i>Picea martinezii</i> T.F. Patterson.....	11
2.1 Resumen.....	11
2.2 Abstract.....	12
2.3 Introducción.....	13
2.4 Objetivo específico.....	15
2.5 Hipótesis específica.....	15
2.6 Materiales y Métodos.....	16
2.6.1 Área de estudio.....	16
2.6.2. Diseño de los sitios de muestreo.....	16
2.6.3 Ubicación y Descripción del área de estudio.....	17

2.6.4 Localización de los sitios de muestreo.....	17
2.6.5 El género <i>Picea</i> .....	22
2.6.6 Taxonomía y descripción botánica de <i>Picea martinezii</i> T.F. Patterson.	22
2.7 Análisis de la información .....	23
2.7.1 Índice de valor de importancia (IVI) .....	23
2.7.2 Índice de Jaccard (Pielou, 1975).....	24
2.7.3 Estructura .....	25
2.7.4 El Índice A de Pretzsch, 2009 .....	25
2.7.4. Fenología.....	26
2.8 Resultados y discusión .....	29
2.8.1 Índice de valor de importancia (IVI) .....	29
2.8.2 Índice de Jaccard (Pielou, 1975).....	32
2.8.3 Estructura .....	33
2.8.4 El Índice de A (Pretzsch, 2009) .....	41
2.8.5 Etapas fenológicas.....	42
2.8.6 Correlación .....	54
2.8.7 ANOVA .....	57
2.9 CONCLUSIONES .....	58
CAPITULO III .....	59
3. Volumen.....	59
3.1 Resumen.....	59
3.2 Abstract.....	60
3.3 Introducción .....	60
3.4 Tablas de volumen.....	61
3.5 Objetivo específico.....	62

3.6 Hipótesis específica .....	62
3.7 Información de campo.....	63
3.8. Análisis de la información .....	64
3.8.1 Cálculo del área basal (G) .....	64
3.8.2 Cálculo del volumen (V).....	64
3.8.3 Modelos Matemáticos Ensayados .....	66
3.8.4 Evaluación de la bondad de ajuste de los modelos. ....	67
3.8.5 Regresión no lineal ( $R^2$ ).....	67
3.8.6 Raíz del Cuadrado Medio del Error (REMC).....	67
3.8.7 Evaluación de los modelos .....	68
3.9 Resultados y discusión .....	68
3.10 Conclusiones.....	70
CAPITULO IV .....	71
4. Captura de carbono .....	71
4.1 Resumen.....	71
4.2 Abstract.....	72
4.3 Introducción .....	72
4.4 Modelos alométricos .....	74
4.5 Objetivo específico.....	74
4.6 Hipótesis específica .....	74
4.7 Información de campo.....	74
4.8 Análisis de la información .....	74
4.8.1 Selección de modelos alométricos.....	75
4.8.2 Estimación indirecta del contenido de carbono en la biomasa aérea: ...	75
4.8.3 Estimación indirecta del contenido de CO <sup>2</sup> en la biomasa aérea:.....	76

4.9 Resultados y discusión .....	77
4.10 Conclusiones.....	80
5. Conclusiones generales.....	81
6. Bibliografía.....	82

## ÍNDICE DE FIGURAS

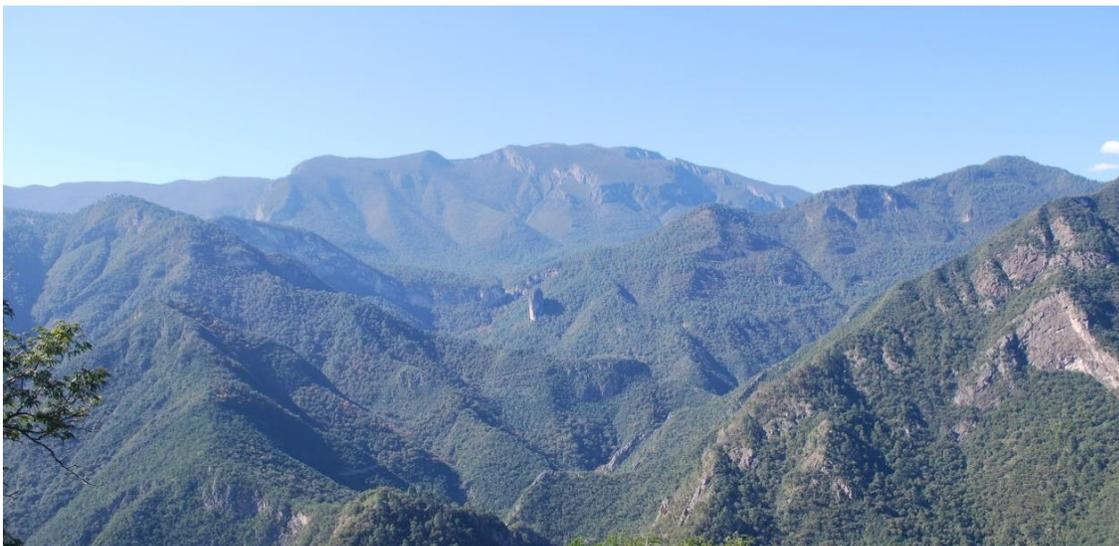
Figura 1. Localización del área de estudio. ....	17
Figura 2. Vista panorámica sitio en Agua de Lardín.....	18
Figura 3. Vista panorámica sitio en El Butano.....	18
Figura 4. Vista panorámica sitio en la cañada El Bosque. ....	19
Figura 5. Vista panorámica sitio en la cañada La Tinaja. ....	20
Figura 6. Estados fenológicos de las hojas. ....	27
Figura 7. Estados fenológicos de las flores.....	28
Figura 8. Estados fenológicos de los frutos.....	28
Figura 9. Distribución diamétrica en el sitio Agua de Lardín. ....	33
Figura 10. Distribución diamétrica en el sitio El Butano .....	34
Figura 11. Distribución diamétrica en el sitio la cañada El Bosque. ....	35
Figura 12. Distribución diamétrica en el sitio la cañada La Tinaja.....	36
Figura 13. Distribución de alturas en el sitio Agua de Lardín. ....	37
Figura 14. Distribución de alturas en el sitio El Butano. ....	38
Figura 15. Distribución de alturas en el sitio la cañada El Bosque. ....	39
Figura 16. Distribución de alturas en el sitio la cañada La Tinaja.....	40
Figura 17. Desarrollo de la foliación en Agua de Lardín.....	42
Figura 18. Desarrollo de la foliación en el Butano. ....	43
Figura 19. Desarrollo de la foliación en la cañada El Bosque. ....	44
Figura 20. Desarrollo de la foliación en la cañada La Tinaja.....	45
Figura 21. Desarrollo de la floración en Agua de Lardín. ....	46
Figura 22. Desarrollo de la floración en El Butano. ....	47

Figura 23. Desarrollo de la floración en la cañada El Bosque. ....	48
Figura 24. Desarrollo de la floración en la cañada La Tinaja. ....	49
Figura 25. Desarrollo de la fructificación en el sitio Agua de Lardín. ....	50
Figura 26. Desarrollo de la fructificación en el sitio El Butano. ....	51
Figura 27. Desarrollo de la fructificación en el sitio la cañada El Bosque. ....	52
Figura 28. Desarrollo de la fructificación en el sitio la cañada La Tinaja. ....	53
Figura 29. Correlación en Agua de Lardín. ....	54
Figura 30. Correlación en El Butano. ....	55
Figura 31. Correlación en El Bosque. ....	56
Figura 32. Correlación en La Tinaja. ....	57
Figura 33. Volumen por categoría diamétrica por el modelo Schumacher-Hall ....	69
Figura 34. Biomasa aérea en función del DAP para <i>Picea martinezii</i> T.F. Patterson. ....	78

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Localización de las poblaciones de <i>Picea martinezii</i> T.F. Patterson .....	16
Tabla 2. Aspectos ecológicos de las poblaciones de <i>Picea martinezii</i> T.F. Patterson .....	21
Tabla 3. Ecuaciones para determinar el índice de valor de importancia (IVI) .....	24
Tabla 4. Descripción de las etapas fenológicas de las hojas de <i>Picea martinezii</i> T.F. Patterson.....	26
Tabla 5. Descripción de los estados fenológicos de las flores de <i>Picea martinezii</i> T.F. Patterson.....	26
Tabla 6. Descripción de los estados fenológicos de los frutos de <i>Picea martinezii</i> T.F. Patterson.....	27
Tabla 7. IVI de Agua de Lardín.....	29
Tabla 8. IVI de El Butano. ....	30
Tabla 9. IVI de la cañada El Bosque. ....	31
Tabla 10. IVI de la cañada La Tinaja.....	32
Tabla 11. Índice de Jaccard en los sitios de estudio. ....	32
Tabla 12. Análisis de Varianza .....	57
Tabla 13. Tamaño de muestra .....	63
Tabla 14. El volumen de los sólidos es conocido:.....	65
Tabla 15. Expresión matemática de las tarifas volumétricas de dos entradas ajustadas ( $v$ = volumen, $d$ = diámetro normal, $h$ = altura total, $\beta$ = coeficientes)...	66
Tabla 16. Coeficientes de regresión estimados y criterios de selección. ....	68
Tabla 17. Tabla de volumen $v=0.000039*(D)^{1.998876}*(H)^{1.001389}$ .....	70
Tabla 18. Modelo de mayor ajuste para estimar la biomasa aérea de bosques del tipo forestal siempreverde. ....	77
Tabla 19. Volumen, biomasa, carbono, dióxido de carbono y oxígeno en <i>Picea martinezii</i> T.F. Patterson. ....	79

## CAPITULO I



Vista panorámica del área de estudio  
Al fondo porción de la Sierra Madre Oriental  
Foto: Valeria Valdes, 2017

### 1. Introducción general

Los servicios ambientales se pueden definir como el conjunto de condiciones y procesos naturales (incluyendo especies y genes) que ofrecen las áreas naturales por su simple existencia y que la sociedad puede utilizar.

Dentro de este conglomerado de servicios se pueden señalar la biodiversidad, el mantenimiento de germoplasma con uso potencial para el beneficio humano, el mantenimiento de valores estéticos y filosóficos, la estabilidad climática, la contribución a ciclos básicos (agua, carbono y otros nutrientes) y la conservación de suelos, entre otros.

Debido a una enorme cantidad de factores, la producción de servicios ambientales se ve día a día amenazada por el uso de prácticas no sustentables de manejo de recursos forestales.

Una de las áreas de interés, corresponde a la capacidad de captación y de retención de carbono (C), por parte de los bosques, tanto naturales como plantaciones

forestales. Esto se debe a que los bosques desempeñan un papel primordial en el ciclo global del C, almacenando grandes cantidades de este elemento en la biomasa y el suelo, además de su intercambio con la atmósfera a través de los procesos de fotosíntesis y respiración (Brown, 1999; Yereña, 2010).

En México existen varios trabajos sobre captura de carbono en diferentes ecosistemas (Brown *et al.*, 1989; Chave *et al.*, 2004) zonas tropicales y (Návar, 2009; Mendoza y Galicia, 2010 en zonas templadas.

El estado de Nuevo León presenta una alta diversidad de flora y fauna, principalmente en la Sierra Madre Oriental que proporciona una gran variedad de condiciones climáticas, bióticas, tipos de suelo, hidrología y geología (Rzedowski, 1978).

Dentro de los bosques del sur de Nuevo León se encuentran poblaciones pequeñas y fragmentadas de *Picea martinezii* T.F. Patterson que enfrentan un alto riesgo de desaparecer. Ya que *Picea martinezii* T.F. Patterson es una conífera en peligro de extinción (SEMARNAT, 2010), se requiere acciones para conservar y preservar estas poblaciones.

Para conservar especies es esencial mantener las condiciones de hábitat que hacen posible, a su vez, la persistencia de las especies. Esto último depende de que las especies puedan encontrar en los hábitats forestales de las unidades de manejo, los requerimientos ambientales necesarios para su reproducción, crecimiento y sobrevivencia.

La caracterización y clasificación de los diferentes tipos de hábitats que se encuentran en las áreas forestales parte del principio de que la pérdida y degradación de hábitat es la principal causa de disminución de la biodiversidad (Primack *et al.*, 2001; Hunter & Gibbs, 2009) y que la transformación de los hábitats forestales por las prácticas de silvicultura y ordenación es también el factor principal

de impacto sobre la biodiversidad en el manejo forestal (Harris, 1984; Lindenmayer & Franklin, 2002).

Puede decirse que, cuando se trata de conservar una especie rara o amenazada o de aprovechar de manera sostenible a unas pocas especies de interés cinegético o maderable, cuyos requerimientos de hábitat son conocidos, la tarea está clara: el manejo del hábitat se dirige a mantener, mejorar o favorecer las condiciones ambientales de acuerdo con los requerimientos de la especie o especies de interés. La cuestión es mucho más complicada cuando se trata de conservar el conjunto de especies existentes en un paisaje forestal, cuando el objetivo es mantener toda la biodiversidad presente.

Hacer compatibles la producción maderera y la conservación de biodiversidad, implica un mejor entendimiento de las comunidades de plantas y animales, cómo cambian a través del tiempo y el espacio y cómo responden a las prácticas silvícolas (Thomas, 1979). La mayor parte de las medidas propuestas para la conservación de biodiversidad en bosques de producción (Thomas, 1979; Harris, 1984; Hoover y Willis, 1984; Franklin *et al.*, 1996; Lindenmayer & Franklin, 2002; Lindenmayer *et al.*, 2006; Vargas-Larreta, 2013), tienen que ver con el manejo de hábitat.

Es por esto que para lograr los objetivos de conservación de biodiversidad, en el marco de la certificación forestal y de las metas de la Estrategia Nacional de Manejo Forestal Sustentable para el Incremento de la Producción y Productividad, se ha planteado un enfoque de conservación basado en el manejo de hábitat (Jardel, 2014).

## 1.1 Antecedentes

México cuenta con una superficie forestal de 138 millones de hectáreas; de éstas 33.4 millones son de bosques (CONAFOR, 2015).

El manejo no sustentable de los bosques ha causado una pérdida de hábitats que tiene lugar con los cambios en el uso de la tierra, así como el cambio climático que se convierte progresivamente en una mayor amenaza para la biodiversidad.

Es así como el incremento en el calentamiento global afecta a la biodiversidad en diferentes escalas y de diversas formas tales como: a) variaciones en los rangos de especies y en la composición de las comunidades, b) desplazamientos altimétricos y/o latitudinales de comunidades vegetales o ecosistemas, y d) cambios en el funcionamiento de los ecosistemas.

Como en el caso del género *Picea* que es un componente primordial de los bosques boreales, de montaña y subalpinos en el hemisferio Norte. Incluye 28 a 56 especies dependiendo de los diferentes sistemas de clasificación utilizada (Farjón, 1990 y Ledig *et al.*, 2004).

Este género ha sido afectado profundamente por el calentamiento global, ya que crece en lugares frescos, templados y bosques montañosos (Ledig *et al.*, 2010) y el cambio de clima, así como la actividad del ser humano han modificado de tal manera que su ecosistema se encuentra fragmentado. Originalmente, *Picea martinezii* fue reportada por Müller y Alanís en 1984, como *P. chihuahuana* pero después de estudios detallados Patterson (1988), la definió como una nueva especie y se le asignó el nombre de *Picea martinezii* T. F. Patterson.

*Picea martinezii* T.F. Patterson es una conífera en peligro de extinción (SEMARNAT, 2010). Se considera una especie relictas, es decir, en el pasado era una especie muy común con una distribución más extensa y actualmente su distribución y el tamaño de sus bosques es reducido (Rzedowski, 1978).

Las poblaciones de esta especie son relictuales, cuyo principal riesgo de desaparecer es debido a los incendios forestales, así como por las actividades humanas (Flores-López, 2004; Alanís *et al.*, 2004). Diversos autores (Martínez, 1961; Taylor y Patterson, 1980; Taylor *et al.*, 1994; Flores-López *et al.*, 2005) reportan poblaciones naturales de *Picea martinezii*; en el sur de Estados Unidos de América y en el norte de México; todas de tamaño reducido (<65 ha) y aisladas entre sí.

Las plantas pertenecientes al género *Picea* se asemejan mucho por su aspecto general y morfología a los árboles de *Abies* y *Pseudotsuga*, la similitud se extiende también al comportamiento ecológico debido a que las especies mexicanas de *Picea* ocupan hábitats análogos a los de *Abies* y *Pseudotsuga* (Cervantes, 2014).

Uno de los mayores retos que enfrentamos en el planeta es el fenómeno del cambio climático, el cual consiste en alteraciones en el clima global como consecuencia del aumento de la concentración de Gases de Efecto Invernadero (GEI) en la atmósfera.

Estas alteraciones se presentan cada vez con mayor frecuencia e incluyen, cambios en la temperatura promedio del planeta, la variación en el temporal de lluvias, disminución de la productividad del campo, cambio en la composición de los bosques y selvas, la pérdida de especie vegetales y animales, entre otros (CONAFOR, 2015)

Una opción para mitigar la emisión de carbono se define como cualquier acción que dé como resultado una reducción del incremento neto en las emisiones de este gas de un área determinada y/o por la substitución de combustibles fósiles (Masera, 1995).

El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) identifica 3 opciones básicas para mitigar las emisiones de carbono en el sector forestal: La conservación, la reforestación y la sustitución.

El carbono contenido en la vegetación es la suma del contenido en la biomasa aérea y la que se halla en la biomasa de las raíces. La biomasa aérea comprende el tronco, las hojas, las ramas y las partes reproductivas mientras que el carbono contenido en las raíces es definido como biomasa de las raíces (Masera *et al.*, 2000).

Existen dos métodos para calcular la biomasa de los ecosistemas directos (destrutivo) e indirectos (utilizando ecuaciones alométricas) y su elección dependerá de los datos que estén disponibles al momento de realizar la estimación:

a) Método directo

Es denominado también método destructivo y consiste en medir los parámetros básicos de un árbol, entre los más importantes, diámetro a la altura del pecho (1.3m), altura total, diámetro de copa y longitud de copa; derribarlo y calcular la biomasa pesando cada uno de los componentes (fuste, ramas, raíces y follaje) (González, 2008).

b) Métodos indirectos

Es utilizado en casos en los que se requiere conocer el carbono de un bosque sin necesidad de derribar los árboles.

La construcción de ecuaciones alométricas, factores de expansión de biomasa y carbono es una herramienta matemática que permite conocer de forma simple, la cantidad de biomasa de un árbol por medio de la medición de otras variables de fácil obtención. Las ecuaciones son generadas a partir de los análisis de regresión,

donde se estudian las relaciones entre la masa de los árboles y sus datos dimensionales (Rügnitz *et al.*, 2009).

## **1.2 Justificación del estudio**

*Picea martinezii* T.F. Patterson es una especie relicto en el sur del estado de Nuevo León protegida por la Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, con un valor ecológico considerando el carbono almacenado en los individuos.

## **1.3 Hipótesis General**

Existen diferencias en la presencia de *Picea martinezii* T.F. Patterson en los ecosistemas forestales de Nuevo León, su comportamiento fenológico y su potencial de captura de carbono.

## **1.4 Objetivo General**

Evaluar la importancia de *Picea martinezii* T.F. Patterson en cada ecosistema forestal, así como su potencial de captura de carbono y su expresión fenológica mediante los procesos de foliación, floración y fructificación.

## CAPITULO II



Vista general de la estructura del área de estudio  
Foto: Valeria Valdes, 2017

### **2. Fenología y caracterización de la estructura arbórea en poblaciones de *Picea martinezii* T.F. Patterson.**

#### **2.1 Resumen**

El presente estudio se realizó en los sitios de Agua de Lardín en el municipio de Aramberri, El Butano en el municipio de Montemorelos, Cañada el Bosque y Cañada La Tinaja en el municipio de Gral. Zaragoza, todos en el estado de Nuevo León, en poblaciones con *Picea martinezii* T.F. Patterson, es una especie que se considera relicta debido al tamaño reducido de sus poblaciones y se encuentra en la Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010 en la categoría de peligro de extinción. Se establecieron cuatro sitios permanentes de muestreo de 50 x 50 m (2500 m<sup>2</sup>). A todos los individuos arbóreos se les midieron las variables dendrométricas: el diámetro (DAP) y la altura total (h). Se hizo un análisis de los datos obtenidos para determinar la importancia de *Picea martinezii* T.F. Patterson en los cuatro sitios mediante el índice del Valor de Importancia (IVI), además se aplicó el índice de Jaccard y se caracterizó la estructura mediante la distribución de diámetros para la distribución horizontal y el índice (A) de Pretzsch, para la

distribución vertical de especies. Los resultados indicaron que *Picea martinezii* T.F. Patterson no representa el mayor valor de IVI. El índice de Jaccard dio como resultado un 0.5% de similitud en la composición de especies en los cuatro sitios, en cuanto a la estructura horizontal el sitio con una masa joven es la cañada El Bosque. El índice de Pretzsch para Agua de Lardín es  $A_{max}$  de 3.40, en el Butano el es  $A_{max}$  de 3.17, en la cañada El Bosque un  $A_{max}$  de 3.49 y en la cañada La Tinaja un  $A_{max}$  de 2.89. El desarrollo de las etapas fenológicas resultó variable entre las localidades, se encontró la etapa de foliación con un mayor desarrollo.

**Palabras clave:** *Picea martinezii* T.F. Patterson, diversidad, riqueza de especies, estructura, índice de Pretzsch (A), fenología.

## 2.2 Abstract

The present study was carried out at the sites of Agua de Lardín in the municipality of Arramberri, El Butano in the municipality of Montemorelos, Cañada el Bosque and Cañada La Tinaja in the municipality of Gral. Populations with *Picea martinezii* TF Patterson, is a species that is considered relict due to the small size of its populations and is in Official Mexican Standard NOM-059-SEMARNAT-2010 in the category of danger of extinction. Four permanent sampling sites measuring 50 x 50 m (2500 m<sup>2</sup>) were established. All dendrometric variables were measured in all tree individuals: diameter (DBH) and total height (h). An analysis of the data obtained to determine the species diversity was done using indexes such as Value of Importance (IVI), Jaccard index and the structure by means of the distribution of diameters for the horizontal distribution and the index (A) of Pretzsch, For the vertical distribution of species. The results of the indexes for Agua de Lardín (IVI) = *Cornus florida*, *Taxus globosa* Schltl and *Picea martinezii* T.F. Patterson; Mean diameter = 23.9; Average height = 13.5; A = 3.21; Butane (IVI) = *Abies vejari* Martínez, *Quercus sartorii* and *Taxus globosa* Schltl, Average diameter = 20.2; Average height = 12.8; A = 2.8; El Bosque (IVI) = *Abies vejari* Martínez and *Quercus affinis* and La Tinaja (IVI) = *Quercus laurina* and *Picea martinezii* T.F. Patterson, Mean diameter = 21.7; Average

height = 13.45; A = 3.08 and in the glacier La Tinaja (IVI) = *Quercus laurina* and *Picea martinezii* T.F. Patterson, Mean diameter = 24.6; Average height = 17.7; A = 2.43.

**Keywords:** *Picea martinezii* T.F. Patterson, diversity, species richness, structure, Pretzsch index (A), phenology.

## 2.3 Introducción

Los ecosistemas forestales tienen una estructura que comprende los parámetros que describen las condiciones de un bosque. La estructura por su fácil modificación es uno de los aspectos más relevantes en el ámbito forestal.

Usualmente es referido a la forma en que los atributos de los árboles están distribuidos en los ecosistemas forestales (Gadow *et al.*, 2007; Bettinger *et al.*, 2009; Gadow, 2012).

De acuerdo con Trumbore *et al.*, (2015) definen al bosque como un mosaico de parches de sucesión que representan todas las etapas de la distribución natural de perturbación y recuperación.

Los bosques relictos son aquellos que resultan de un remanente de otro mucho más amplio que ha perdido gran parte de su superficie. Tales bosques promueven la diversidad de la dinámica de nutrientes, los tipos de cobertura, y se destacan las estructuras y crean una serie de nichos de hábitat para la fauna endémica.

Los bosques han existido por mucho más tiempo que los seres humanos y ya han sobrevivido a una amplia gama de cambios pasados en las condiciones climáticas.

En los últimos años, el concepto de diversidad biológica se ha convertido en uno de los principales retos en la gestión y conservación de las masas forestales. El conocimiento sobre la diversidad de especies y estructura del bosque constituye un elemento fundamental para el manejo sustentable de los recursos forestales

(Gadow, 2007; Jardel, 2011). Por tal motivo, se han desarrollado numerosas definiciones y métodos de estimar la biodiversidad (Del Rio, 2003).

La diversidad y composición de especies será estimada a partir de índices como el de Margalef ( $M_G$ ), Shannon-Wiener ( $H'$ ), (Magurran, 1989), Valores de importancia (VI), (Mostacedo y Fredericksen, 2000).

La estructura de las poblaciones será estimada mediante el índice de Pretzsch (A) para la distribución vertical de especies (Pretzsch, 2009) y la distribución diamétricas describirá la estructura horizontal.

La fenología es el estudio de la periodicidad o tiempo de los eventos biológicos recurrentes. Los factores ambientales abióticos influyen o modifican la fenología de las especies.

El estudio fenológico de las especies forestales es considerado esencial para el entendimiento de la dinámica, ecología y evolución de la diversidad de las plantas.

Además, el conocimiento del ciclo de estos eventos fenológicos es importante para el éxito reproductivo y la supervivencia de las especies (Sakai 2001). En el caso de las plantas, los eventos fenológicos incluyen los periodos de floración, fructificación, pérdida de follaje y germinación.

Para el presente estudio se caracteriza la diversidad de especies y las distribuciones diamétricas así como su fenología en cuatro poblaciones con *Picea martinezii* T.F. Patterson. Se busca obtener información básica sobre las características de estos bosques que ayuden al entendimiento de su estructura actual y permitirán conocer un poco más sobre la dinámica del almacenamiento de carbono en este tipo de ecosistemas.

Los bosques almacenan grandes cantidades de carbono que de otra manera contribuirían al cambio climático. Se solía pensar que sólo los árboles jóvenes durante su fase de crecimiento capturaban o secuestraban carbono de la atmósfera, y que al llegar a la madurez simplemente almacenaban carbono. Sin embargo, nuevos estudios que demuestran que los grandes árboles, el arbolado adulto, también captura carbono de la atmósfera (Lewis, *et al.*, 2019).

#### **2.4 Objetivo específico**

- Caracterizar la vegetación arbórea mediante el índice de valor de importancia (IVI), el índice de Jaccard, estructura horizontal y vertical y la fenología.

#### **2.5 Hipótesis específica**

- *Picea martinezii* T.F. Patterson presenta una mayor abundancia, dominancia y frecuencia, es decir, un mayor valor de importancia en los cuatro sitios.
- La mayoría de los individuos de *Picea martinezii* T.F. Patterson se encuentran en las categorías diamétricas menores, pero con presencia de árboles en las categorías intermedias y mayores, esto representa un indicador de perturbaciones de severidad baja a intermedia.
- Existe una relación de los factores climáticos con el desarrollo de la Fenología de *Picea martinezii* T.F. Patterson.

## 2.6 Materiales y Métodos

### 2.6.1 Área de estudio

Las cuatro poblaciones en estudio de *Picea martinezii* T.F. Patterson se encuentran distribuidas en la Sierra Madre Oriental dentro del estado de Nuevo León (Tabla 1).

**Tabla 1. Localización de las poblaciones de *Picea martinezii* T.F. Patterson**

Población	Propiedad	Municipio	Latitud Norte (N)	Longitud Oeste (W)	Elevación
Agua de Lardín	Propiedad Privada: Agua de Alardín	Aramberri	24°02'30.29	99°43'52.94	2185
El Butano	Ejido la Trinidad	Montemorelos	25°10'35.11	100°07'29.66	2201
El Bosque	Ejido la Encantada	Zaragoza	23°53'24.89	99°46'26.31	2386
La Tinaja	Ejido la Encantada	Zaragoza	23°53'22.58	99°47'31.50	2593

### 2.6.2. Diseño de los sitios de muestreo.

Las parcelas permanentes de muestreo tienen una forma cuadrada de 50 x 50 m. Su orientación se ubicó con respecto a la pendiente y para el establecimiento de las parcelas se utilizó el hipsómetro VERTEX IV y una brújula.

Se establecieron cuatro sitios de muestreo de 2500 m<sup>2</sup>. La toma de datos se realizó por sitio (50 m x 50 m), los datos utilizados para este trabajo son el diámetro a la altura de 1.30 m (d1.3), altura total y se determinó la especie de cada individuo con un diámetro mayor a 7.5 cm.

### 2.6.3 Ubicación y Descripción del área de estudio.

La zona de estudio se encuentra dentro del estado de Nuevo León que se localiza en la Sierra Madre Oriental (Figura 1).

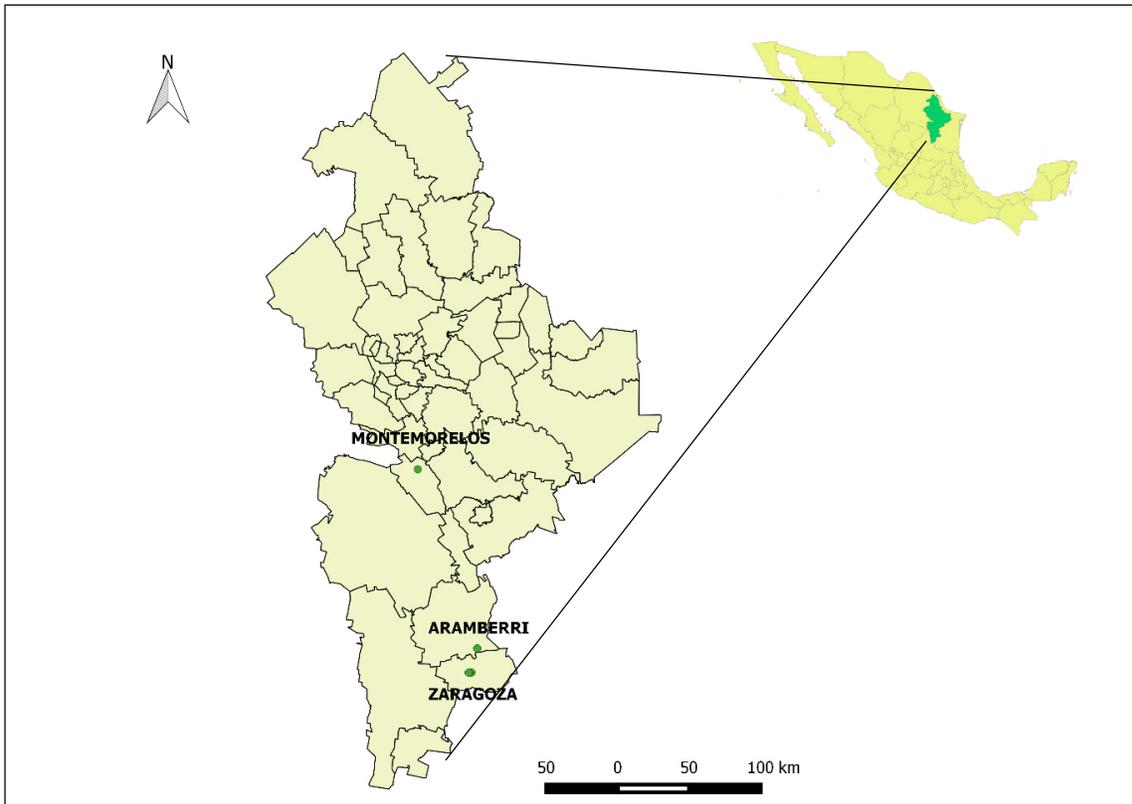


Figura 1. Localización del área de estudio.

### 2.6.4 Localización de los sitios de muestreo.

El primer sitio se estableció en **Agua de Lardín**, en las coordenadas  $24^{\circ} 02' 30.2''$  N y  $99^{\circ} 43' 52.9''$  W. Se encuentra en una ladera con exposición norte a 2185 msnm. Este sitio presenta una pendiente de 8% y un suelo con compactación baja, está cubierto en un 90% por hojarasca y tiene una capa de materia orgánica de 6 cm (Figura 2).



**Figura 2. Vista panorámica sitio en Agua de Lardín.**

El segundo sitio se estableció en **El Butano**, en las coordenadas 25° 10' 35.1" N y 100° 07' 29.6" W. Se encuentra en una ladera con exposición norte a 2201 msnm. Este sitio presenta una pendiente de 4% y un suelo con compactación baja, está cubierto en un 90% por hojarasca y tiene una capa de materia orgánica de 7 cm (Figura 3).



**Figura 3. Vista panorámica sitio en El Butano.**

El tercer sitio se estableció en **la cañada El Bosque**, en las coordenadas 23° 53' 24.9" N y 99° 46' 26.3" W. Se encuentra en la ladera norte a 2386 msnm, con una pendiente de 15-20%, tiene una accesibilidad buena y se llega al sitio por un camino de terracería. Presenta una compactación baja del suelo con una textura arenosa arcillosa, con abundante materia orgánica y una profundidad de 8 cm, existe abundante hojarasca que tiene una profundidad de 3 cm (Figura 4).



**Figura 4. Vista panorámica sitio en la cañada El Bosque.**

El cuarto sitio se estableció en **la cañada La Tinaja**, en las coordenadas 23° 53' 22.6" N y 99° 47' 31.5" W. Se encuentra en una ladera con exposición norte a 2593 msnm. Este sitio presenta una pendiente de 6% y un suelo con compactación baja, está cubierto en un 90% por hojarasca y tiene una capa de materia orgánica de 8 cm (Figura 5).



**Figura 5. Vista panorámica sitio en la cañada La Tinaja.**

Los datos climatológicos de las localidades se tomaron de las estaciones meteorológicas más cercanas de cada una de ellas. El tipo de clima dominante en las poblaciones es el Clima templado subhúmedo, el cual es característico de las asociaciones vegetales dominantes de *Picea martinezii* T.F. Patterson (Tabla 2).

**Tabla 2. Aspectos ecológicos de las poblaciones de *Picea martinezii* T.F. Patterson**

Aspecto ecológicos	Municipio		
	Aramberri	Montemorelos	Zaragoza
Fisiografía	Se encuentra localizada en la zona fisiográfica conocida como "Provincia de la Sierra Madre Oriental", en la sub-provincia de la gran Sierra Plegada, esta área en Nuevo León.	Se encuentra localizada en la zona fisiográfica conocida como "Provincia de la Sierra Madre Oriental", en la sub-provincia de la gran Sierra Plegada, esta área en Nuevo León.	Se encuentra localizada en la zona fisiográfica conocida como "Provincia de la Sierra Madre Oriental", en la sub-provincia de la gran Sierra Plegada, esta área en Nuevo León.
Clima	Es un clima templado subhúmedo con temperatura media anual entre 12 y 18° C, la temperatura del mes más frío que va desde -3°C a 18°C y la temperatura del mes más cálido bajo los 22°C. La precipitación en el mes más seco es menor a 40 mm.	Es un clima semicálido subhúmedo, presenta una temperatura media mayor a 18°C, en el mes más frío la temperatura es menor a 18°C y 22°C en el mes más caliente. La precipitación del mes más seco es menor a 40 mm y en el mes de lluvias entre 42.3 y 55.	Es un clima templado subhúmedo, presenta una temperatura media anual entre 12 y 18° C, siendo extremosa para el mes más frío la temperatura va desde -3° C a 18° C y la temperatura del mes más cálido bajo los 22° C. La precipitación anual es de 200 a 1800 mm y la precipitación en el mes más seco va de 0 a 40 mm.
Geología	Las rocas son sedimentarias de tipo caliza.	Las rocas son de sedimentos de tipo caliza con lutitas.	Las rocas son sedimentarias de tipo caliza.
Hidrología	Pertenece a la región hidrológica RH25 San Fernando –Soto La Marina en la cuenca Soto La Marina.	Pertenece a la región hidrológica RH24 Bravo-Conchos en la cuenca Río Bravo - San Juan.	Pertenece a la región hidrológica RH25 San Fernando – Soto La Marina en la cuenca Soto La Marina.
Edafología	El tipo predominante de suelo presente es el Litosol con algunas áreas de rendzinas de textura media	El tipo predominante de suelo presente es el Regasol eútrico con áreas pequeñas de litosoles, con una fase Lítica y una clase textural fina.	El tipo predominante de suelo es el Luvisol crómico de textura fina con pedregosidad lítica profunda.

Fuente: García y CONABIO, 1998; DETENAL, 1977, 1978; CETENAL, 1977; DETENAL, 1979; CNA, 1998; García, 1990; Villalba, 2009.

### 2.6.5 El género *Picea*

El género *Picea* es un componente primordial de los bosques boreales, de montaña y subalpinos en el hemisferio Norte. Incluye 28 a 56 especies dependiendo de los diferentes sistemas de clasificación utilizada (Farjón, 1990 y Ledig *et al.*, 2004). Este género ha sido afectado profundamente por el cambio climático en el pasado, ya que crece en lugares frescos, templados y bosques montañosos (Ledig *et al.*, 2010).

En México, se localizan únicamente tres especies *Picea chihuahuana* Martínez, *Picea martinezii* T. F. Patterson y *Picea mexicana* Martínez, estas especies tienen diferente distribución y se ubican en poblaciones aisladas (Cervantes, 2014).

Las plantas pertenecientes al género *Picea* se asemejan mucho por su aspecto general y morfología a los árboles de *Abies* y *Pseudotsuga*, la similitud se extiende también al comportamiento ecológico debido a que las especies mexicanas de *Picea* ocupan hábitats análogos a los de *Abies* y *Pseudotsuga* (Cervantes, 2014).

### 2.6.6 Taxonomía y descripción botánica de *Picea martinezii* T.F. Patterson.

Originalmente, *Picea martinezii* fue reportada como *P. chihuahuana* (Müller y Alanís, 1984), pero después de estudios detallados se definió como una nueva especie y se le asignó el nombre de *Picea martinezii* T. F. Patterson (Patterson, 1988).

De acuerdo con Patterson (1988), *Picea martinezii* es un árbol de mediano tamaño de 25 a 30 m de altura, a veces hasta 40 m, con un tronco que alcanza hasta un metro de diámetro, la corteza es delgada y escamosa que se desprende en pequeñas láminas circulares de 5 a 10 cm. La copa del árbol es cónica, con ramas espaciadas y colgantes, sus brotes son robustos, café claro con un peciolo prominente.

Las hojas son aciculares de 16 a 27 mm de largo por 1 a 2 mm de ancho, son robustas, aplanadas en su sección transversal, verde brillante, con puntas afiladas y dirigidas hacia arriba.

Se diferencia de la especie *Picea chihuahuana* por sus hojas que son de mayor tamaño (13 a 23 mm), pero su punta espinosa es menor. Los conos crecen hacia abajo, cilíndricos, verdes y miden de 8.5 a 16 cm de largo y de 3 a 6 cm de ancho en la madurez y se tornan de color café.

En cada cono hay de 12 a 16 escamas espaciadas por cada 10 cm, son lisas, rígidas y redondeadas de 1.9 a 3.0 cm de largo por 1.8 a 2.5 cm de ancho. Tienen color verde que madura a café pálido 6 a 8 meses después de la polinización.

Las semillas son de color café, redondeadas de 4 a 5 mm de largo con alas café pálido de 16 a 23 mm de largo.

Se diferencia de la *Picea chihuahuana* por su distribución, tamaño del cono (7 a 12 cm de largo abriendo hasta 5 cm en la madurez), escamas más apretadas, con hasta 30 escamas por 10 cm de cono y de menor tamaño (hasta 2.3 cm de largo por 2 cm de ancho) y composición química de la resina (CONABIO-CONANP, 2009).

## **2.7 Análisis de la información**

### **2.7.1 Índice de valor de importancia (IVI)**

Existen varios índices para describir la vegetación, entre estos se encuentra el índice de valor de importancia (IVI), el cual es un parámetro que permite medir el valor de las especies, típicamente, tomando en consideración tres parámetros los cuales son: la abundancia (densidad), dominancia (cobertura o área basal), y frecuencia, la suma de estos tres parámetros permite determinar el IVI (Tabla 3).

Este valor muestra la importancia ecológica relativa de cada una de las especies dentro de una comunidad vegetal. El IVI resulta el mejor descriptor que cualquiera de los parámetros utilizados de forma individual (Mostacedo y Fredericksen, 2000).

Para poder obtener el IVI es necesario que los datos de abundancia, dominancia y frecuencia sean transformados en valores relativos, de tal manera que la suma total de los valores relativos para cada parámetro debe ser igual a 100. Por lo que la suma total de los valores del IVI debe ser igual a 300 (Müller y ElleMBERG, 1974).

**Tabla 3. Ecuaciones para determinar el índice de valor de importancia (IVI)**

Ecuación	Descripción
Abundancia $A_r = \frac{n}{N} \times 100$	$A_r$ = Abundancia relativa $n$ = número de individuos por especie $N$ = número total de individuos
Dominancia $D_r = \frac{d}{D} \times 100$	$D_r$ = Dominancia relativa $d$ = Dominancia de una especie $D$ = Dominancia de todas las especies
Frecuencia $F_r = \frac{f}{F} \times 100$	$F_r$ = Frecuencia relativa $f$ = Frecuencia de una especie $F$ = Suma de frecuencias de todas las especies
IVI $IVI = A_r + D_r + F_r$	IVI= Índice de valor de importancia $A_r$ = Abundancia relativa $D_r$ = Dominancia relativa $F_r$ = Frecuencia relativa

### 2.7.2 Índice de Jaccard (Pielou, 1975)

Es necesario determinar que los datos provienen de una población con distribución normal. Para analizar la similitud de las dos masas forestales se utilizó el índice Jaccard, que expresa el grado en el que dos muestras son semejantes por las especies presentes en ellas (Pielou, 1975; Magurran, 1988; Luna, 2013).

Este coeficiente es  $ij = \frac{c}{(a+b+c)} * 100$

Donde

- $a$ = Número de especies presentes en el sitio a.

- b= Número de especies presentes en el sitio b.
- c= Número de especies presentes en el sitio a y b.

### 2.7.3 Estructura

#### 2.7.3.1 Estructura horizontal

La estructura horizontal se relaciona con el análisis dasométrico (distribución de diámetros de las especies). El análisis de la distribución de las clases diamétricas nos muestra en que condición se encuentra el bosque.

#### 2.7.3.2 Estructura vertical

La estructura vertical se relaciona con el análisis de alturas (distribución de alturas de las especies).

### 2.7.4 El Índice A de Pretzsch, 2009

La distribución vertical de las especies se estimó mediante el Índice A de Pretzsch, (2009). El índice A caracteriza la ubicación de las especies en diferentes estratos de altura para lo cual se definieron tres zonas, zona I: 80%-100% de la altura del árbol más alto; zona II: 50%-80% y zona III: de 0 a 50%.

Este índice (A) se define de la siguiente manera:

$$A = - \sum_{i=1}^S \sum_{j=1}^Z p_{ij} * \ln p_{ij}$$

Donde

- S = número de especies presentes.
- Z = número de estratos de altura.
- $p_{ij}$  = porcentaje de especies en cada zona.

$$p_{ij} = \frac{n_{ij}}{N}$$

- $n_{ij}$  = Número de individuos de la especie  $i$  en el estrato  $j$ .
- $N$  = Número total de individuos.

#### 2.7.4. Fenología.

Para la fenología una vez ubicados los sitios donde se encuentra presente *Picea martinezii* T.F. Patterson, se registró un 20% de los árboles por sitio con un DAP= 10 cm para tratar de asegurar que los árboles estarán en su fase reproductiva (Fournier y Charpantier, 1975) y se evaluarán mensualmente la floración y la fructificación de la especie (Justiniano y Fredericksen, 2000; Talora y Morellato, 2000; Ochoa, S. *et al.*, 2008) durante un año.

Para estimar la fenología se hizo una modificación de la metodología de Reid y Cantú (1992): se basó en el estado fenológico de los individuos en función al grado de desarrollo de cada evento. La información que se registró fue de tipo cualitativas (en porcentaje).

Las variantes que se tomaron en cuenta fueron: Hoja, flor y fruto.

**Tabla 4. Descripción de las etapas fenológicas de las hojas de *Picea martinezii* T.F. Patterson.**

Hoja creciente	Yema foliar cerrada de color verde claro
Hoja madura	Hoja desarrollada, color verde oscuro
Hoja caída	Hoja no presente en el árbol

**Tabla 5. Descripción de los estados fenológicos de las flores de *Picea martinezii* T.F. Patterson.**

Botón floral	Botón floral, cerrado y verde
Flor marchita	Flor abierta, polen maduro
Sin flor	Flor no presente en el árbol

**Tabla 6. Descripción de los estados fenológicos de los frutos de *Picea martinezii* T.F. Patterson.**

Fruto nuevo	Primordio de fruto, no desarrollado completamente, color verde
Fruto en desarrollo	Fruto desarrollado, color verde
Fruto maduro	Fruto desarrollado, color café.

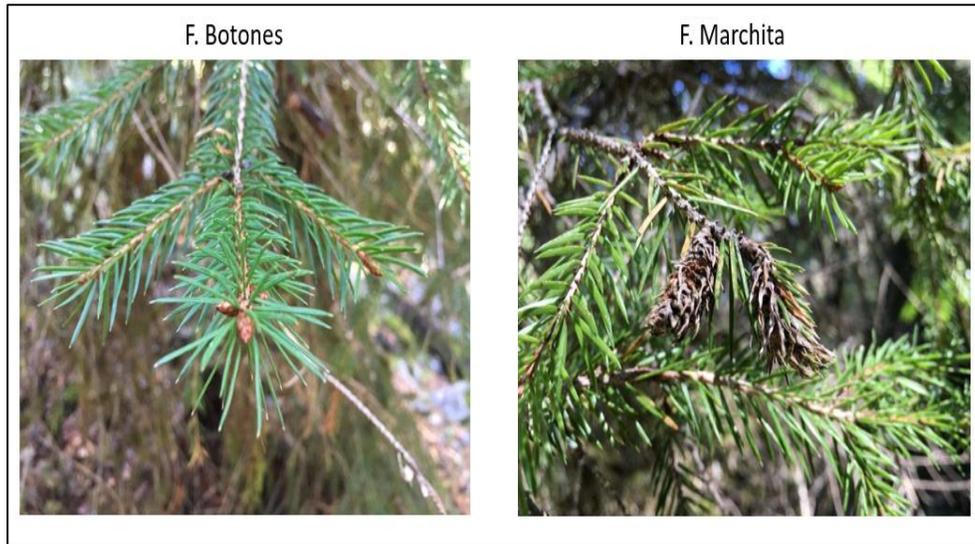
Las observaciones de las etapas fenológicas se realizaron examinando toda la copa del árbol. La copa del árbol se dividió en tres estratos horizontales con un valor de 100% para cada uno, de ahí se obtuvieron porcentajes de las fenofases de hoja madura, flor abierta y fruto maduro. La información fue registrada en un formato de campo.

Los registros meteorológicos fueron obtenidos de la estación climatológica ubicadas en el municipio de Aramberri, Montemorelos y Gral. Zaragoza (CONAGUA, 2016).

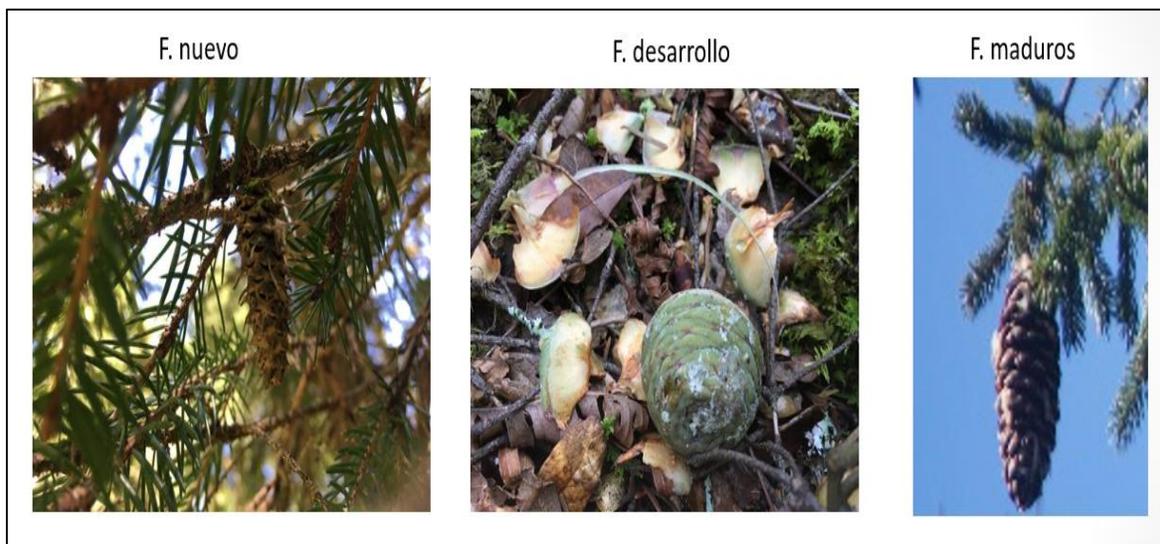
**Figura 6. Estados fenológicos de las hojas.**



**Figura 7. Estados fenológicos de las flores.**



**Figura 8. Estados fenológicos de los frutos.**



## 2.8 Resultados y discusión

Con la información recolectada se formó una base de datos en el programa de procesamiento MS-EXCEL®.

Los datos de campo se incorporaron en el programa SPPSS 2.2 en el cual los datos fueron ordenados a fin de realizar distintos análisis estadísticos, tales como análisis de varianza con mediciones repetidas y un análisis de correlación simple.

### 2.8.1 Índice de valor de importancia (IVI)

En el sitio de Agua de Lardín. *Picea martinezii* T.F. Patterson representa un 14.14% de IVI para este ecosistema, ocupando el tercer lugar de importancia en la composición de especies y se encuentra presente en todo el sitio evaluado. En cuanto a la vegetación se considera que este bosque es mixto, es un Bosque de *Quercus* con especies dominantes como *Cornus florida* L. y *Taxus globosa* Schltld por su mayor IVI (Tabla 7).

Tabla 7. IVI de Agua de Lardín.

Especies	N ha <sup>-1</sup>	N ha %	m <sup>2</sup> ha <sup>-1</sup>	%	Frec.	Frec. %	IVI	IVI %
<i>Ab ve</i>	18	16.98	2.26	7.62	4.00	13.79	38.39	12.80
<i>Pi ma</i>	9	8.49	5.99	20.14	4.00	13.79	42.42	14.14
<i>Qu af</i>	5	4.72	5.10	17.16	1.00	3.45	25.33	8.44
<i>Ta gl</i>	23	21.70	2.23	7.50	4.00	13.79	42.99	14.33
<i>Ps me</i>	3	2.83	3.73	12.53	3.00	10.34	25.71	8.57
<i>Cr ca</i>	3	2.83	0.54	1.83	1.00	3.45	7.79	2.60
<i>Co fl</i>	19	17.92	3.45	11.60	4.00	13.79	43.32	14.44
<i>Ti am</i>	11	10.38	1.25	4.21	3.00	10.34	24.94	8.31
<i>Qu me</i>	5	4.72	0.24	0.82	2.00	6.90	12.43	4.14
<i>Qu sa</i>	10	9.43	4.93	16.58	3.00	10.34	36.36	12.12
TOTAL	106	100	29.74	100	29.00	100	300	100

N ha<sup>-1</sup>= número de árboles por hectárea; m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup> área basal en metros cuadrados por hectárea; Frec.= frecuencia; IVI= valor de importancia. *Ab ve* = *Abies vejarii* Martínez; *Pi ma*= *Picea martinezii* T.F. Patterson, *Qu af* = *Quercus affinis* Scheidw; *Ta gl*= *Taxus globosa* Schltld; *Ps me*= *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco; *Cr ca*= *Carpinus caroliniana* Walter, *Co fl*= *Cornus florida* L., *Ti am* = *Tilia americana*; *Qu me* = *Quercus mexicana*; *Qu sa* = *Quercus sartorii*.

**En el Butano.** *Picea martinezii* T.F. Patterson representa un 14.52% del IVI para este ecosistema, ocupando el cuarto lugar de importancia en la composición de especies y se encuentra presente en todo el sitio evaluado. En cuanto a la vegetación se considera que este bosque es mixto, es un Bosque de *Quercus- Abies* por su mayor IVI (Tabla 8).

**Tabla 8. IVI de El Butano.**

Especies	N ha <sup>-1</sup>	N ha %	m <sup>2</sup> ha <sup>-1</sup>	%	Frec.	Frec. %	IVI	IVI %
<i>Ab ve</i>	220	32.54	8.71	32.36	4.00	17.39	82.29	27.43
<i>Pi ma</i>	72	10.65	4.18	15.51	4.00	17.39	43.55	14.52
<i>Ta gl</i>	124	18.34	4.18	15.51	4.00	17.39	51.24	17.08
<i>Qu sa</i>	188	27.81	8.74	32.46	4.00	17.39	77.66	25.89
<i>Qu gl</i>	16	2.37	0.19	0.71	3.00	13.04	16.13	5.38
<i>Cr ca</i>	44	6.51	0.77	2.84	2.00	8.70	18.05	6.02
<i>Qu gr</i>	8	1.18	0.07	0.27	1.00	4.35	5.80	1.93
<i>Sa ni</i>	4.00	0.59	0.09	0.34	1.00	4.35	5.28	1.76
TOTAL	676	100	26.93	100	23	100	300	100

N ha<sup>-1</sup>= número de arboles por hectárea; m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup> área basal en metros cuadrados por hectárea; Frec.= frecuencia; IVI= valor de importancia. *Ab ve* = *Abies vejarii* Martínez; *Pi ma*= *Picea martinezii* T.F. Patterson; *Ta gl*= *Taxus globosa* Schlttdl; *Qu sa* = *Quercus sartorii*; *Qu gl*= *Quercus glaucoides*; *Cr ca* = *Carpinus caroliniana* Walter; *Qu gr*= *Quercus greggii*; *Sa ni*= *Sambucus nigra*.

**En La cañada El Bosque.** *Picea martinezii* T.F. Patterson representa un 7.96% del IVI para este ecosistema, ocupando el sexto lugar de importancia en la composición de especies y se encuentra presente en todo el sitio evaluado. En cuanto a la vegetación se considera que este bosque es mixto, es un Bosque de *Quercus- Abies* por su mayor IVI (Tabla 9).

**Tabla 9. IVI de la cañada El Bosque.**

Especies	N ha <sup>-1</sup>	N ha %	m <sup>2</sup> ha <sup>-1</sup>	%	Frec.	Frec. %	IVI	IVI %
<i>Ab ve</i>	224	36.36	10.41	32.80	4.00	14.81	63.00	27.21
<i>Qu af</i>	124	20.13	0.05	0.17	4.00	14.81	35.03	11.67
<i>Qu me</i>	100	16.23	0.09	0.27	3.00	11.11	27.77	9.23
<i>Ta gl</i>	56	9.09	0.83	2.63	4.00	14.81	24.42	8.10
<i>Pi ma</i>	52	8.44	0.10	0.31	4.00	14.81	24.05	7.96
<i>Qu po</i>	36	5.84	0.21	0.66	3.00	11.11	22.79	7.18
<i>Ps me</i>	8	1.30	5.81	18.30	1.00	3.70	22.28	6.21
<i>Cr ca</i>	4	0.65	6.86	21.61	1.00	3.70	29.99	8.19
<i>Pi ay</i>	4	0.65	5.81	18.31	1.00	3.70	28.20	7.72
<i>Ul cr</i>	4	0.65	0.17	0.55	1.00	3.70	5.77	1.82
<i>Ar xa</i>	4	0.65	1.40	4.40	1.00	3.70	16.72	4.70
TOTAL	616	100	31.73	100	27.00	100	300	100

N ha<sup>-1</sup>= número de arboles por hectárea; m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup> área basal en metros cuadrados por hectárea; Frec.= frecuencia; IVI= valor de importancia. *Ab ve* = *Abies vejarii* Martínez; *Qu af* = *Quercus affinis* Scheidw; *Qu me* = *Quercus mexicana*; *Ta gl* = *Taxus globosa* Schltdl; *Pi ma* = *Picea martinezii* T.F. Patterson; *Qu po* = *Quercus polymorpha*; *Ps me* = *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco; *Cr ca* = *Carpinus caroliniana* Walter; *Pi ay* = *Pinus ayacahuite* Ehren; *Ul cr* = *Ulmus crassifolia* Nutt; *Ar xa* = *Arbutus xalapensis* Kunth.

**La cañada La Tinaja.** *Picea martinezii* T.F. Patterson representa un 22.44% del IVI para este ecosistema, ocupando el segundo lugar de importancia en la composición de especies y se encuentra presente en un 75% del sitio evaluado. En cuanto a la vegetación se considera que este bosque es mixto, es un Bosque de *Quercus- Picea* por su mayor IVI (Tabla 10).

Tabla 10. IVI de la cañada La Tinaja.

Especies	N ha <sup>-1</sup>	N ha %	m <sup>2</sup> ha <sup>-1</sup>	%	Frec.	Frec. %	IVI	iVI %
<i>Ab ve</i>	64	16.49	3.89	15.94	4.00	18.18	50.62	16.87
<i>Pi ma</i>	128	32.99	5.05	20.69	3.00	13.64	67.32	22.44
<i>Pi ay</i>	44	11.34	3.27	13.39	4.00	18.18	42.91	14.30
<i>Ps me</i>	36	9.28	1.07	4.38	3.00	13.64	27.29	9.10
<i>Qu la</i>	68	17.53	8.98	36.78	4.00	18.18	72.49	24.16
<i>Ta gl</i>	48	12.37	2.15	8.81	4.00	18.18	39.37	13.12
<b>TOTAL</b>	<b>388</b>	<b>100</b>	<b>24.41</b>	<b>100</b>	<b>22.00</b>	<b>100</b>	<b>300</b>	<b>100</b>

N ha<sup>-1</sup>= número de arboles por hectárea; m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup> área basal en metros cuadrados por hectárea; Frec.= frecuencia;IVI= valor de importancia. *Ab ve* = *Abies vejarii* Martínez; *Pi ma*= *Picea martinezii* T.F. Patterson; *Pi ay* = *Pinus ayacahuite* Ehren; *Ps me* = *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco; *Qu la*= *Quercus laurina*; *Ta gl*= *Taxus globosa* Schltl.

### 2.8.2 Índice de Jaccard (Pielou, 1975)

Este coeficiente de similitud tiene valores que van de 0 a 1. En nuestros sitios se encontró que existe entre ellos un 0.5% de similitud en la composición de especies presentes en los cuatro sitios evaluados (Tabla 11).

Tabla 11. Índice de Jaccard en los sitios de estudio.

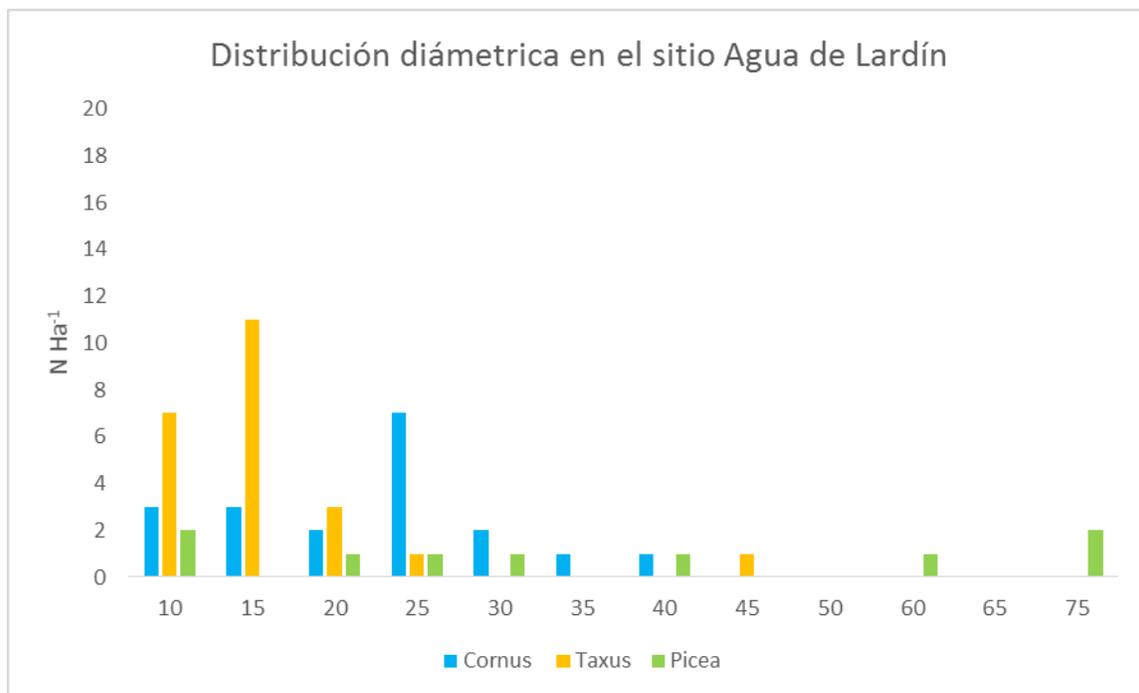
Sitios	Índice de Jaccard
El Bosque y La Tinaja	0.5
La Tinaja y Agua de Lardín	0.5
Agua de Lardín y El Butano	0.5
El Bosque y Agua de Lardín	0.5
El Butano y El Bosque	0.5

## 2.8.3 Estructura

### 2.8.3.1 Estructura horizontal.

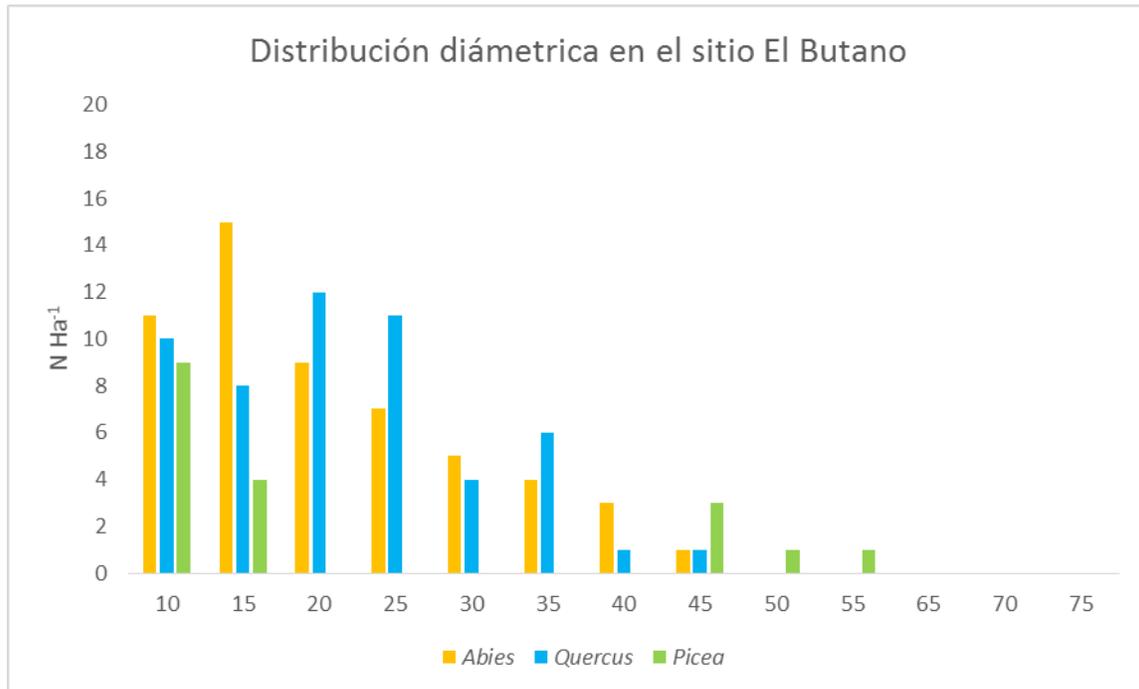
En **Agua de Lardín** se presenta una masa arbórea con distribución irregular, la especie *Cornus florida* L. se muestra presente en las categorías diamétricas menores a 45 cm, seguida de *Taxus globosa* Schltl que presenta un mayor número de individuos en las clases diamétricas menores a los 20 cm, nos indica que la especie corresponde a una masa forestal joven. *Picea martinezii* T.F. Patterson presenta una distribución irregular con categorías diamétricas faltantes lo que indica que ha sido aprovechada o afectada por algún cambio (Figura 9).

**Figura 9. Distribución diamétrica en el sitio Agua de Lardín.**



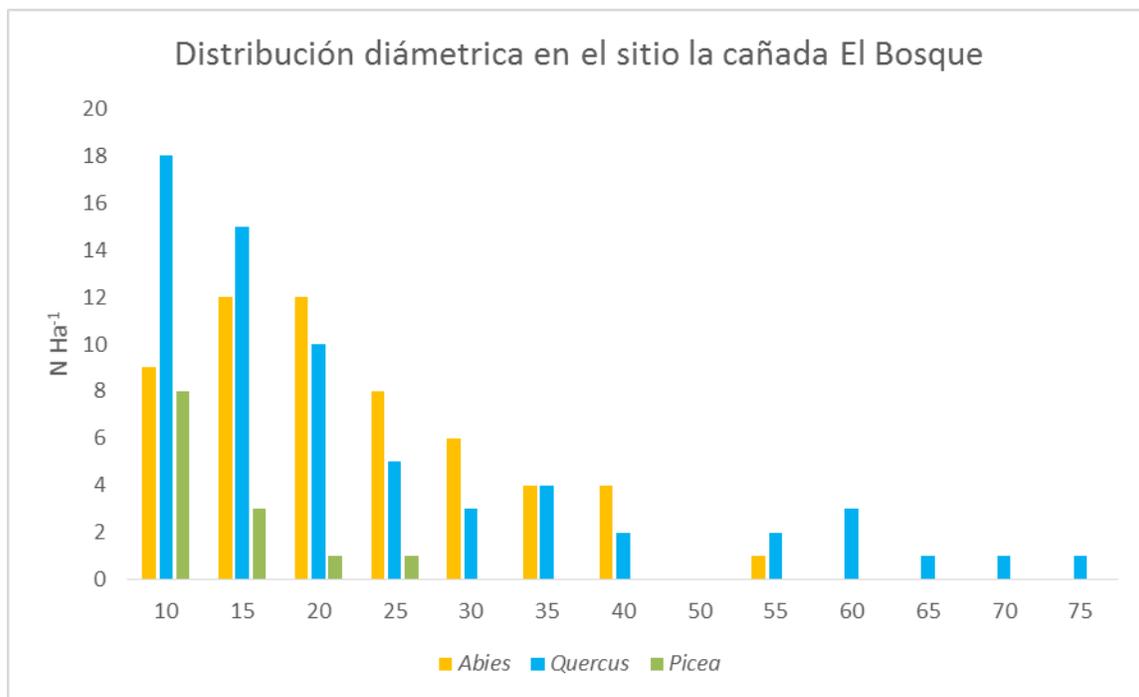
**En El Butano** se presenta una masa arbórea con distribución regular, *Abies vejarii* Martínez presenta una distribución regular en j invertida, lo que indica que esta especie no ha sido afectada por algún cambio. El género *Quercus* presenta un mayor número de individuos en las clases diamétricas menores a los 45 cm. La especie *Picea martinezii* T.F. Patterson presenta una mayor representación de individuos en las clases diamétricas menores a los 20 cm, sin embargo se encontraron categorías diamétricas faltantes lo que indica que ha sido aprovechada o afectada por algún cambio (Figura 10).

**Figura 10. Distribución diamétrica en el sitio El Butano**



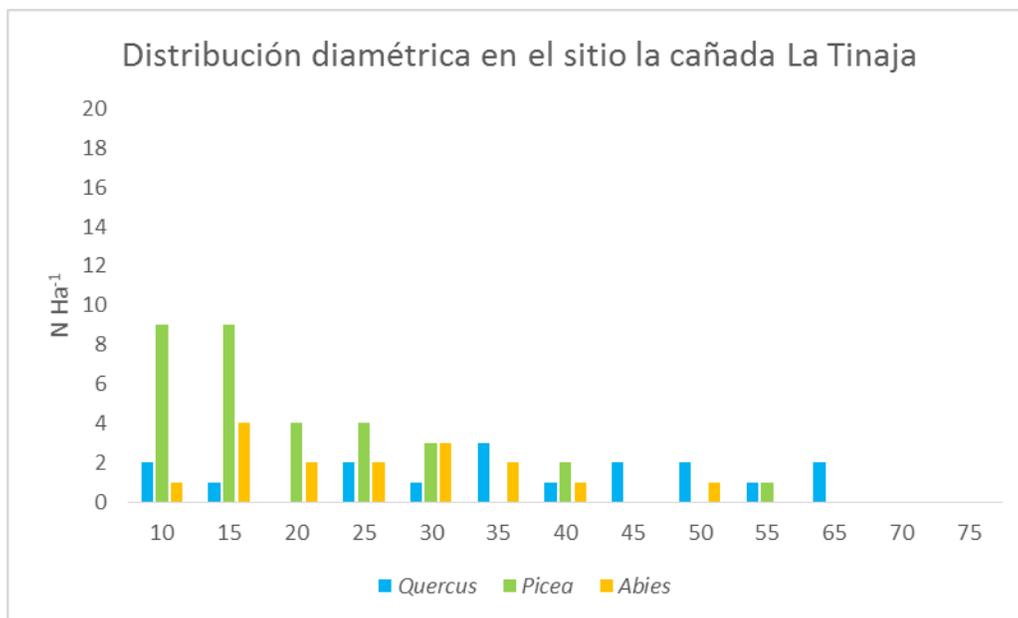
En la cañada El Bosque se presenta una masa arbórea con distribución regular, el género *Quercus* muestra una mayor distribución en casi todas las categorías diamétricas, *Picea martinezii* T.F. Patterson presenta una mayor representación de individuos en las clases diamétricas menores a los 25 cm, nos indica que esta especie corresponde a una masa forestal joven. *Abies vejarii* Martínez presenta una distribución normal con categorías diamétricas faltantes lo que indica que ha sido aprovechada o afectada por algún cambio (Figura 11).

Figura 11. Distribución diamétrica en el sitio la cañada El Bosque.



**En la cañada La Tinaja** se presenta una masa arbórea con distribución irregular, *Picea martinezii* T.F. Patterson muestra una distribución regular en j invertida, con una mayor representación de individuos en las categorías diamétricas menores a 20 cm, nos indica que estas especies no presentan un proceso de reproducción. Los valores para *Abies vejarii* Martínez y el género *Quercus* presentan una distribución irregular con categorías diamétricas faltantes lo que indica que ha sido aprovechada o afectada por algún cambio (Figura 12).

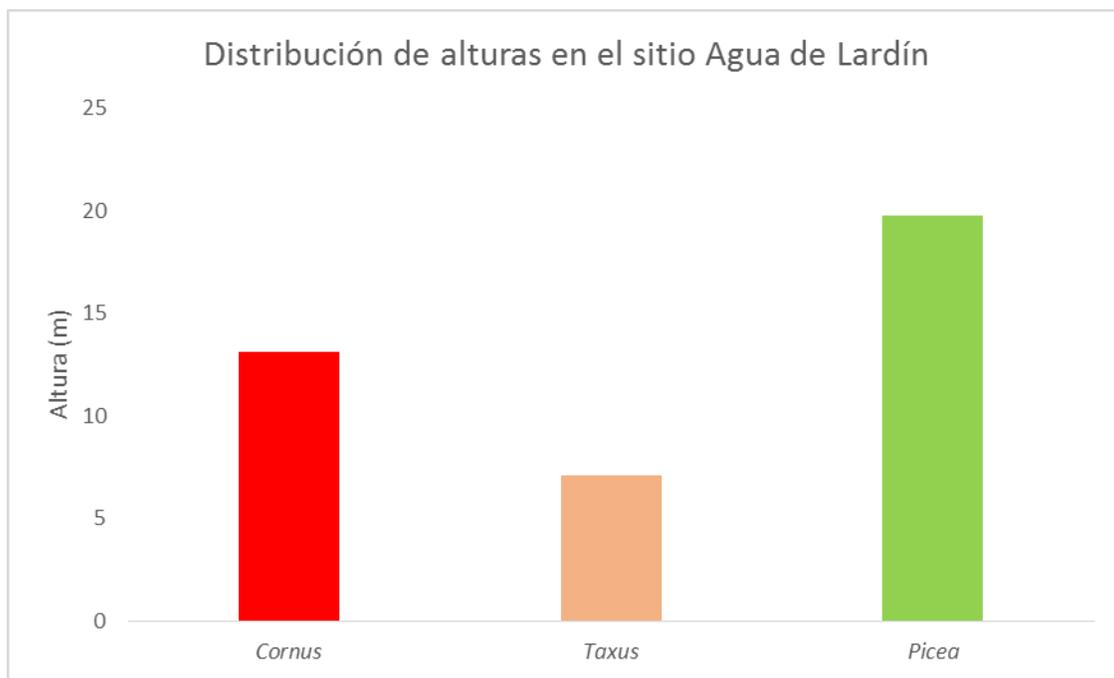
**Figura 12. Distribución diamétrica en el sitio la cañada La Tinaja.**



### 3.8.3.2 Estructura vertical

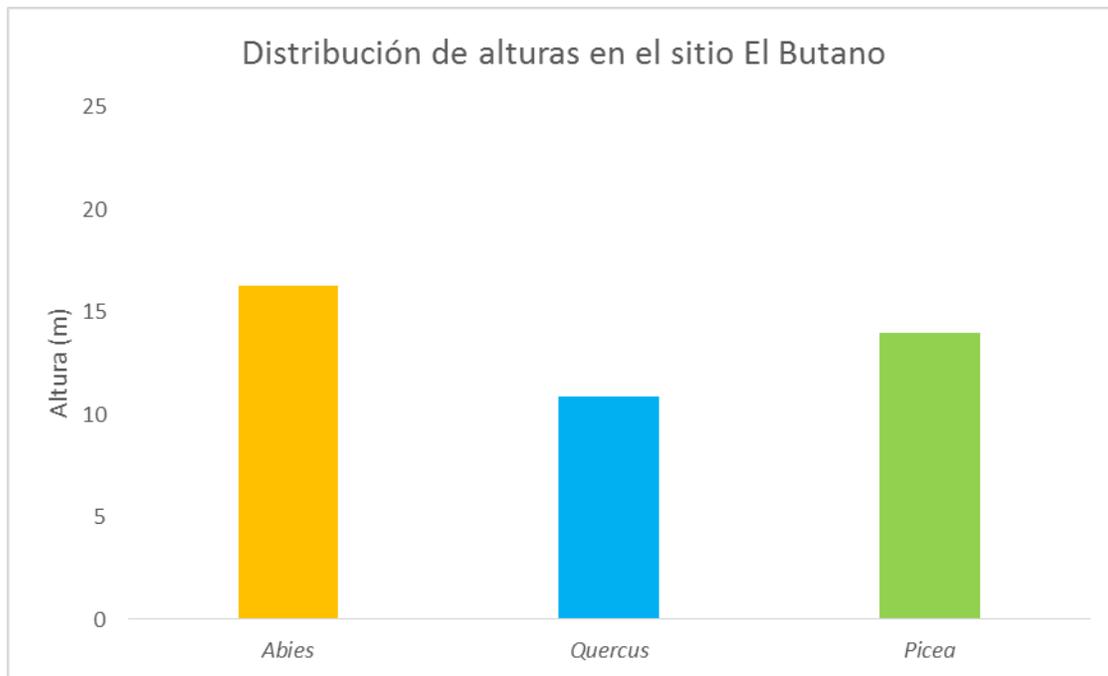
En Agua de Lardín. *Picea martinezii* T.F. Patterson es la especie dominante en cuanto al mayor promedio en altura con un valor de 19.8 m, para *Cornus florida* L. muestra una altura promedio de 13.1 m y *Taxus globosa* Schltldl presenta una menor altura promedio con un valor de 7.1 m (Figura 13).

Figura 13. Distribución de alturas en el sitio Agua de Lardín.



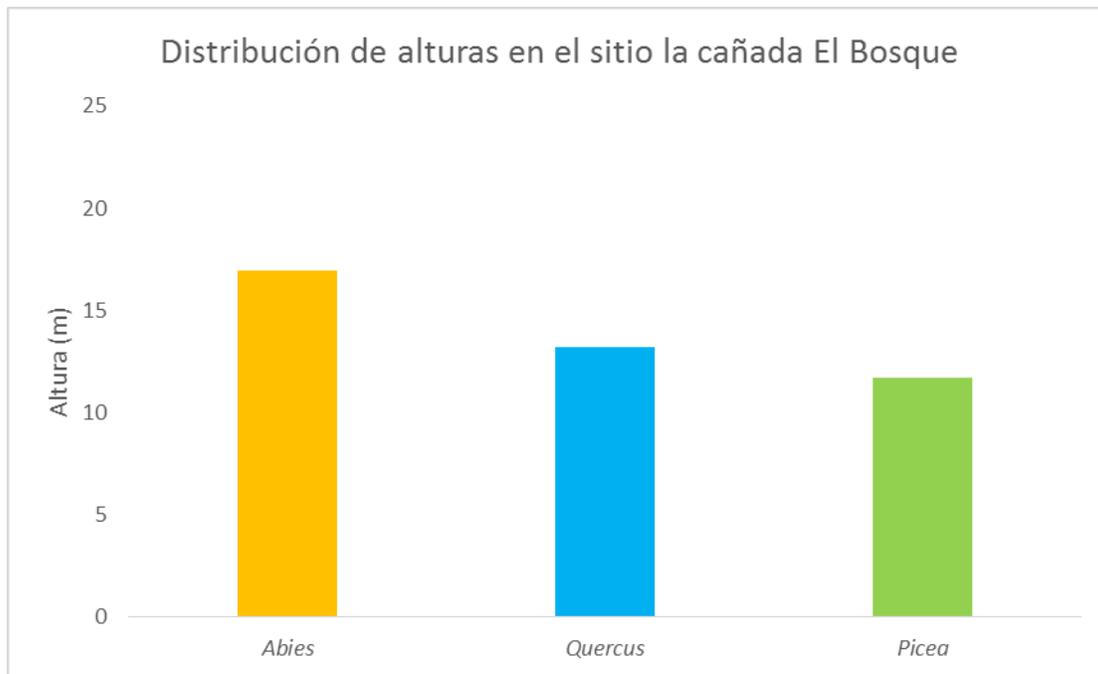
**En El Butano.** *Abies vejarii* Martínez presenta una mayor altura promedio de 16.3 m es la especie más dominante, seguida de *Picea martinezii* T.F. Patterson con un valor de altura promedio de 13.9 m y el género *Quercus* presenta un menor promedio en altura con un valor de 10.8 m (Figura 14).

**Figura 14. Distribución de alturas en el sitio El Butano.**



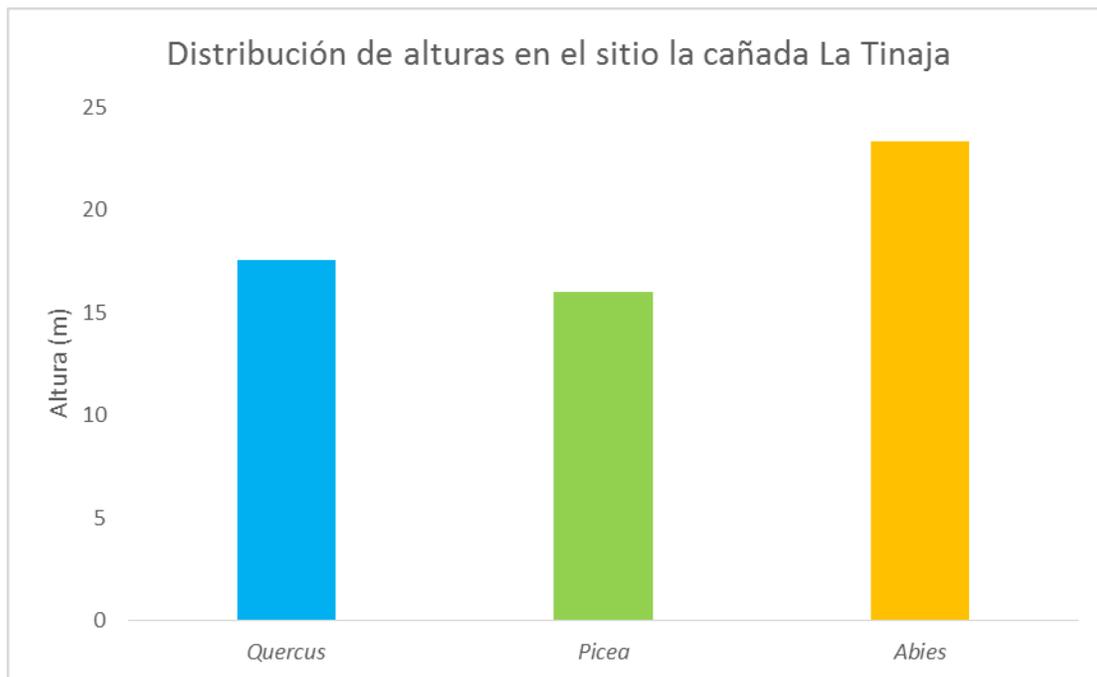
En la cañada El Bosque, *Abies vejarii* Martínez es la especie dominante en cuanto al mayor promedio en altura con un valor de 16.9 m, el género *Quercus* presenta una altura promedio de 13.2 m y *Picea martinezii* T.F. Patterson presenta un menor promedio en altura con un valor de 11.7 m (Figura 15).

Figura 15. Distribución de alturas en el sitio la cañada El Bosque.



En la cañada La Tinaja, *Abies vejarii* Martínez es la especie más dominante, presenta una mayor altura promedio de 23.3 m, el género *Quercus* presenta un valor promedio en altura de 17.5 m. *Picea martinezii* T.F. Patterson es la especie que presenta un menor promedio en altura con un valor de 16 m (Figura 16).

Figura 16. Distribución de alturas en el sitio la cañada La Tinaja.



#### 2.8.4 El Índice de A (Pretzsch, 2009)

**En Agua de Lardín**, el valor del índice A es de 3.21 con un  $A_{\max}$  de 3.40. Lo que indica que la distribución de las especies en los estratos de altura presenta una similitud. En el estrato III se tiene una presencia de la mayoría de las especies. Para el estrato II la especie dominante es *Quercus affinis* y para el estrato I la especie dominante es *Picea martinezii* T.F. Patterson a un 100%.

**En el Butano**, el valor del índice A es de 2.81 con un  $A_{\max}$  de 3.17. Lo que indica que la distribución de las especies en los estratos de altura no presenta una similitud, en el estrato I las especies dominantes son *Picea martinezii* T.F. Patterson y *Abies vejarii* Martínez, el número de especies que contiene es menor a los otros dos estratos. La especie *Picea martinezii* T.F. Patterson se encuentra presente en los tres estratos con una dominancia del 100%.

**En la cañada El Bosque**, el valor del índice A es de 3.08 con un  $A_{\max}$  de 3.49. Lo que indica que la distribución de las especies en los estratos de altura presenta una similitud. En el estrato I las especies dominantes son *Abies vejarii* Martínez, *Quercus affinis* y *Quercus polymorpha*. La especie *Picea martinezii* T.F. Patterson se encuentra presente en el estrato II y III y no es la especie más dominante para estos estratos. La especie *Abies vejarii* Martínez se encuentra presente en los tres estratos.

**En la cañada La Tinaja**, el resultado del índice A es de 2.43 y  $A_{\max}$  es de 2.89 lo cual indica que el sitio presenta una similitud, en cuanto a la diversidad de especies en alturas. En este sitio *Picea martinezii* T.F. Patterson no es la especie de mayor dominancia, se encuentra presente solo en los estratos II y III, los individuos de esta especie están en etapa juvenil. La especie *Abies vejarii* Martínez se encuentra presente en los tres estratos.

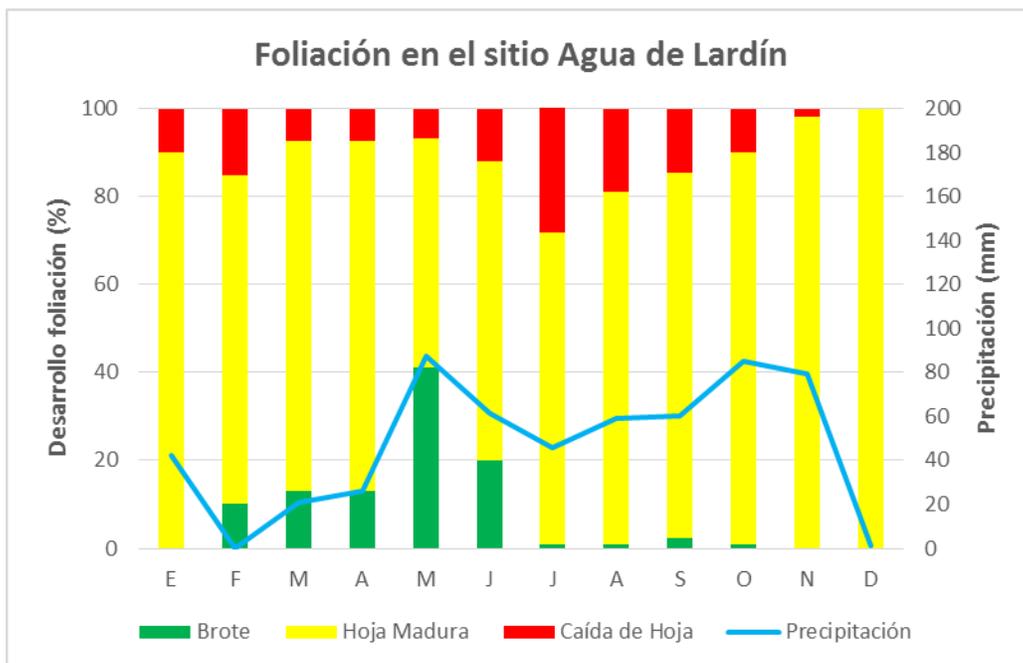
### 2.8.5 Etapas fenológicas

Se registró la presencia de los eventos de foliación, floración y fructificación en *Picea martinezii* T.F. Patterson a través del año de estudio Enero a Diciembre 2016. Para conocer las condiciones climáticas normales del área de estudio se tomaron los datos de las estaciones meteorológicas en los municipios de Aramberri, General Zaragoza y Montemorelos.

En Agua de Lardín. El desarrollo de la foliación de la especie mostró un patrón creciente en la producción de yemas foliares (brotes) en los meses de febrero a octubre, el mes de mayo presentó un mayor desarrollo con un 40%, asociado a un mayor registro de precipitación en el sitio, el mes de julio presentó una mayor pérdida de hoja con un valor de 29%.

No se registraron hojas crecientes en los meses de enero, noviembre y diciembre. El promedio de cobertura de hojas en los árboles durante el periodo de estudio, alcanzó el 100% en el mes de diciembre y el valor mínimo de un 71% en el mes de diciembre (Figura 17).

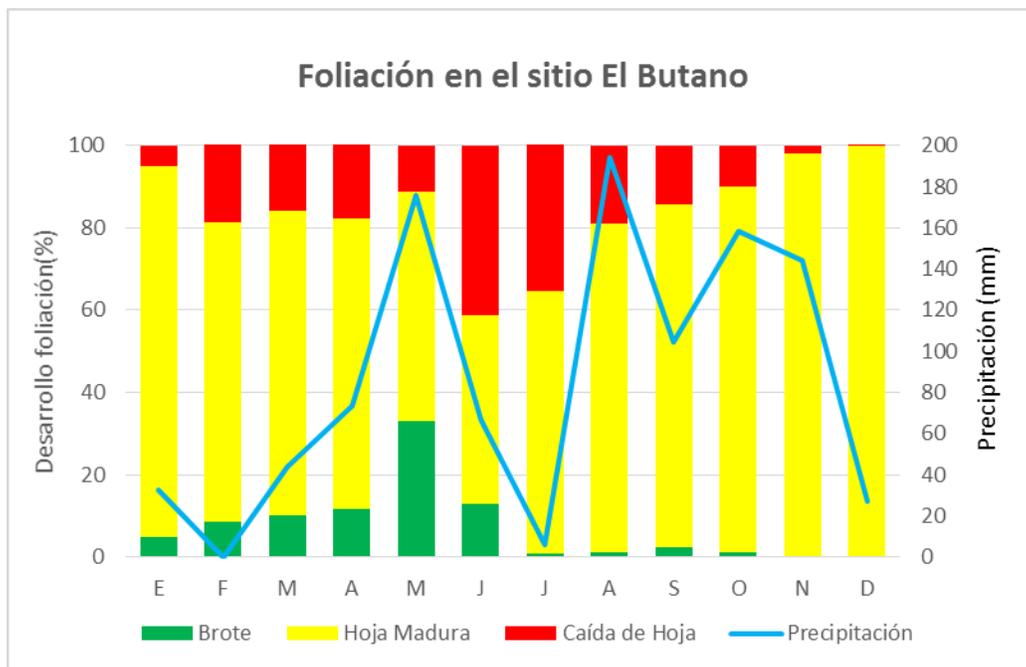
**Figura 17. Desarrollo de la foliación en Agua de Lardín.**



**El Butano.** La foliación de la especie mostró un patrón creciente en la producción de yemas foliares (brotes) en los meses de enero a octubre, así mismo el mayor registro de producción brotes en el sitio se presentó en el mes de mayo, sin embargo, el mes de agosto presentó mayor precipitación y una baja producción de brotes. En el mes de junio se presentó la mayor caída de hojas con un 42%.

El promedio de cobertura de hojas en los árboles durante el periodo de estudio, alcanzó casi el 100% en el mes de diciembre y el valor mínimo de un 46% en el mes de junio (Figura 18).

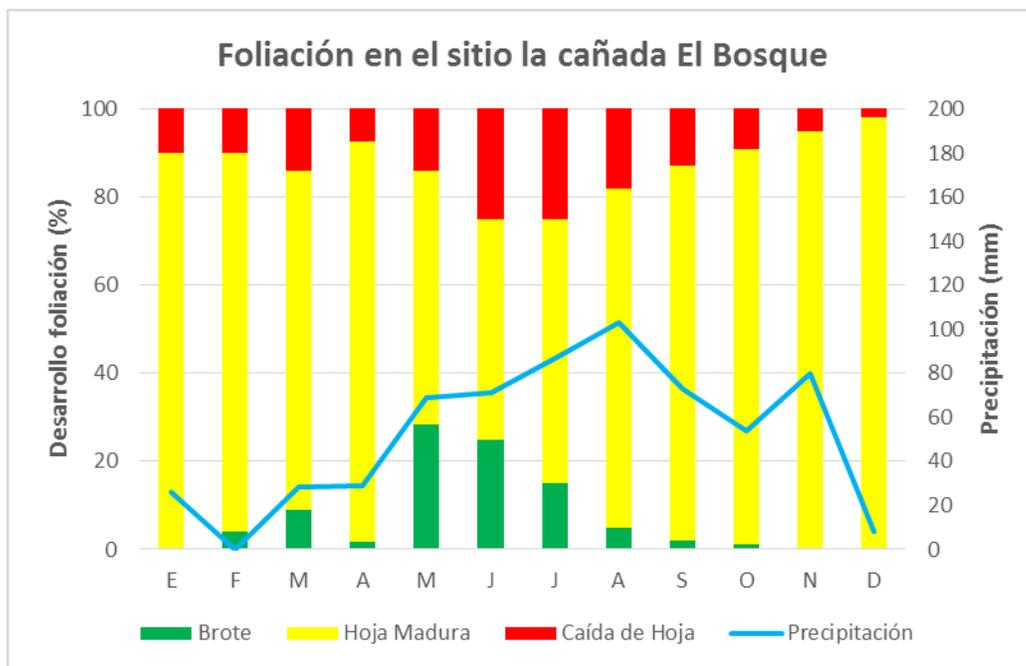
**Figura 18. Desarrollo de la foliación en el Butano.**



**La cañada El Bosque.** La foliación de la especie mostró un patrón creciente en la producción de yemas foliares (brotes) en los meses de febrero a octubre, así mismo el mayor registro de producción brotes en el sitio se presentó en el mes de mayo, sin embargo, el mes de agosto presentó mayor precipitación y una baja producción de brotes. En los meses de junio y julio se presentó una mayor caída de hojas con un 25%.

El promedio de cobertura de hojas en los árboles durante el periodo de estudio, alcanzó casi el 100% en el mes de diciembre y el valor mínimo de un 50% en el mes de junio (Figura 19).

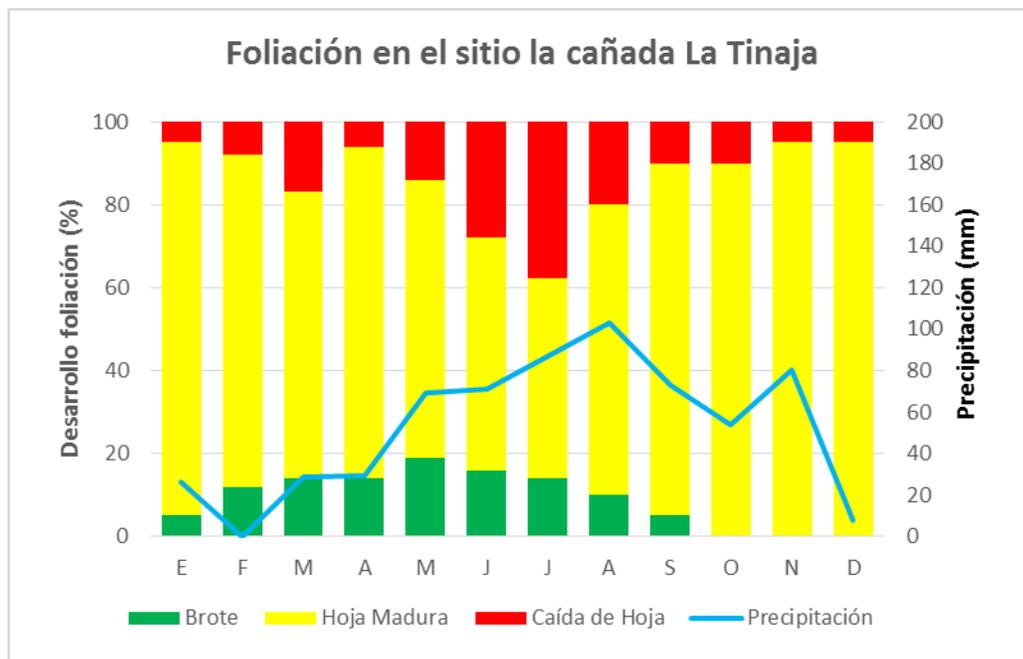
**Figura 19. Desarrollo de la foliación en la cañada El Bosque.**



**La cañada La Tinaja.** La foliación de la especie mostró un patrón creciente en la producción de yemas foliares (brotes) en los meses de enero a septiembre, así mismo el mayor registro de producción brotes en el sitio se presentó en el mes de mayo, sin embargo, el mes de agosto presentó mayor precipitación y una baja producción de brotes. En el mes de julio se presentó una mayor caída de hojas con un 38%.

El promedio de cobertura de hojas en los árboles durante el periodo de estudio, alcanzó casi el 100% en los meses de noviembre y diciembre y el valor mínimo de un 48% en el mes de julio (Figura 20).

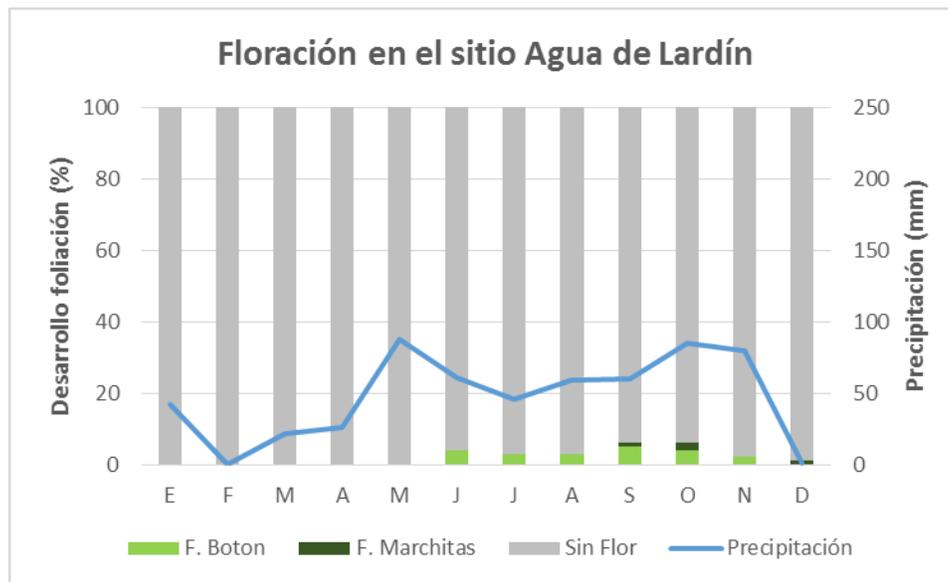
**Figura 20. Desarrollo de la foliación en la cañada La Tinaja.**



**En Agua de Lardín.** El desarrollo de la floración de la especie mostró un patrón creciente en la producción de botones para el sitio en los meses de junio a noviembre teniendo el mayor porcentaje en el mes de septiembre.

Éste fue el único desarrollo de flores que presentó *Picea martinezii* T.F. Patterson en el ciclo de muestreo (Figura 21).

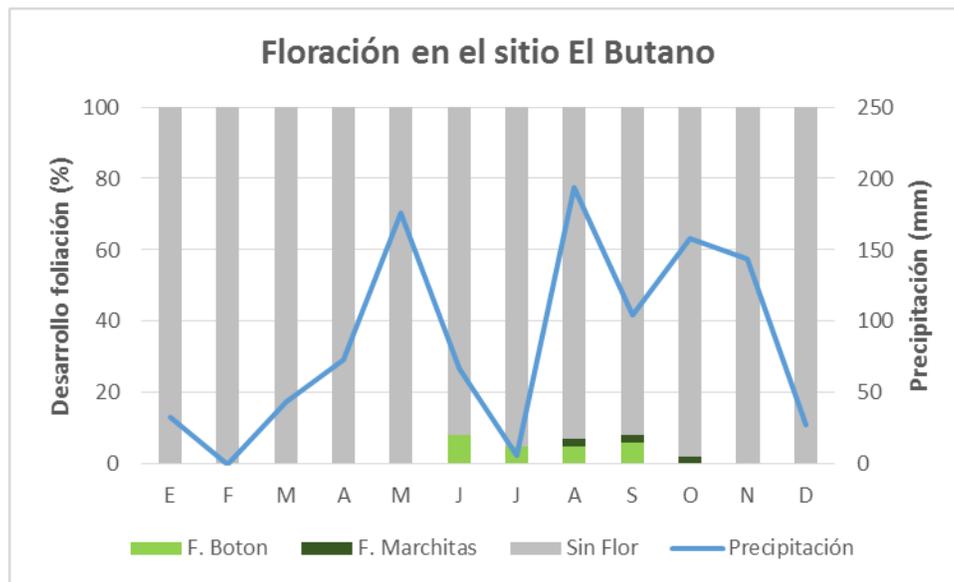
**Figura 21. Desarrollo de la floración en Agua de Lardín.**



**El Butano.** El desarrollo de la floración de la especie mostró un patrón creciente en la producción de botones para el sitio en los meses de junio a septiembre teniendo el mayor porcentaje en el mes de junio.

Éste fue el único desarrollo de flores que presentó *Picea martinezii* T.F. Patterson en el ciclo de muestreo (Figura 22).

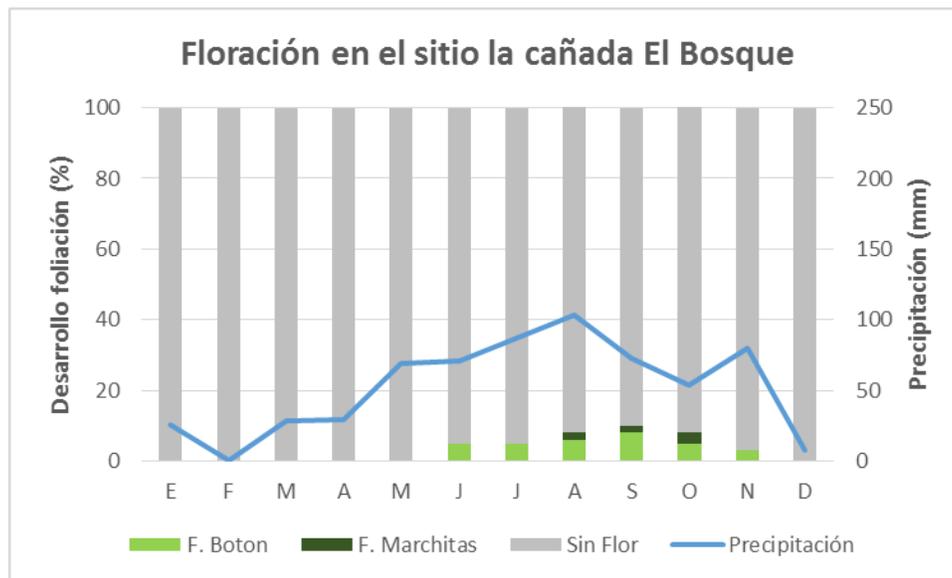
**Figura 22. Desarrollo de la floración en El Butano.**



**La cañada El Bosque.** El desarrollo de la floración de la especie mostró un patrón creciente en la producción de botones para el sitio en los meses de junio a noviembre teniendo el mayor porcentaje en el mes de septiembre.

Éste fue el único desarrollo de flores que presentó *Picea martinezii* T.F. Patterson en el ciclo de muestreo (Figura 23).

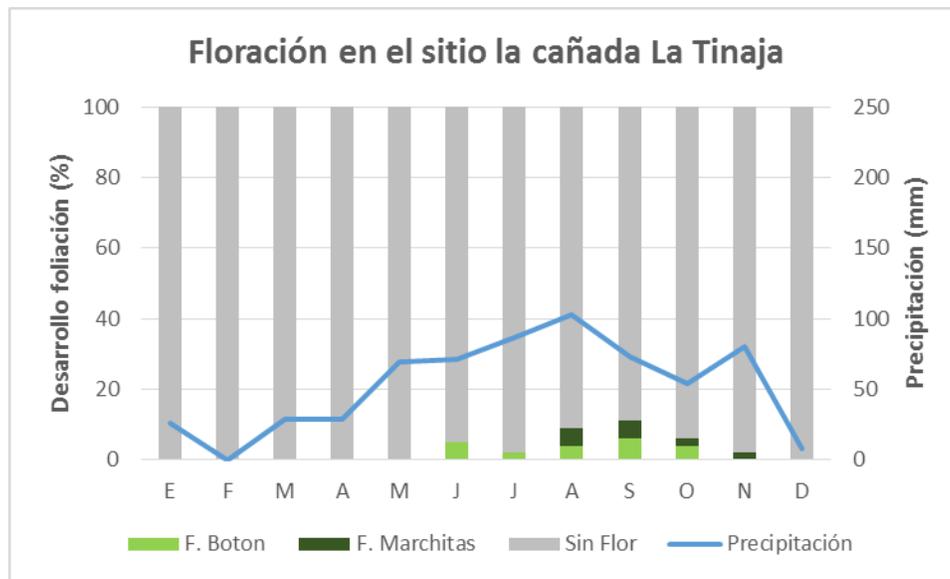
**Figura 23. Desarrollo de la floración en la cañada El Bosque.**



**La cañada La Tinaja.** El desarrollo de la floración de la especie mostró un patrón creciente en la producción de botones para el sitio en los meses de junio a octubre teniendo el mayor porcentaje en el mes de septiembre.

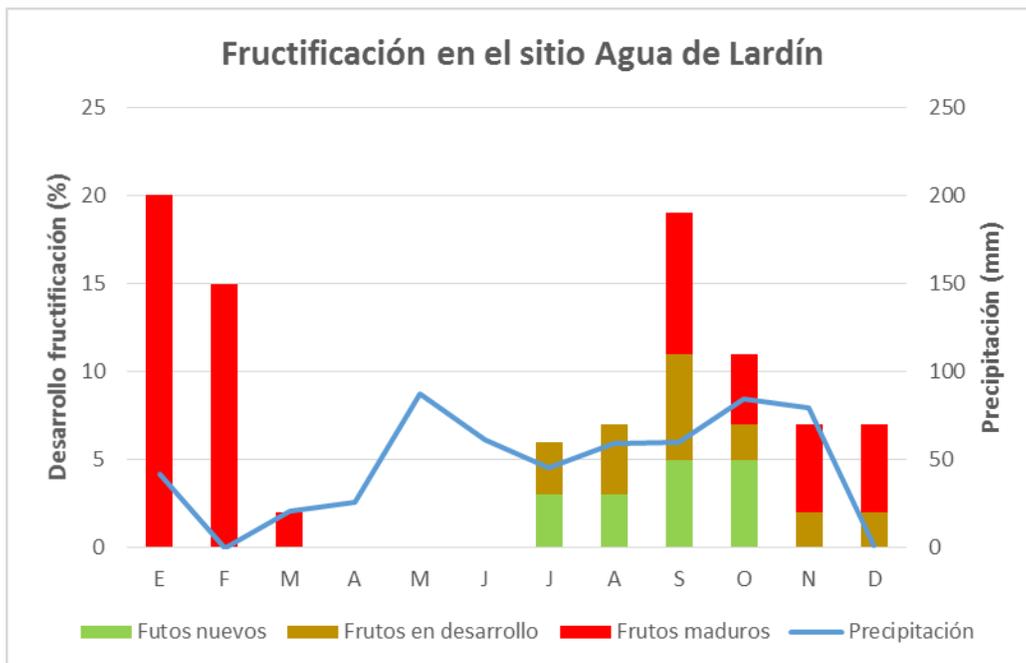
Éste fue el único desarrollo de flores que presentó *Picea martinezii* T.F. Patterson en el ciclo de muestreo (Figura 24).

**Figura 24. Desarrollo de la floración en la cañada La Tinaja.**



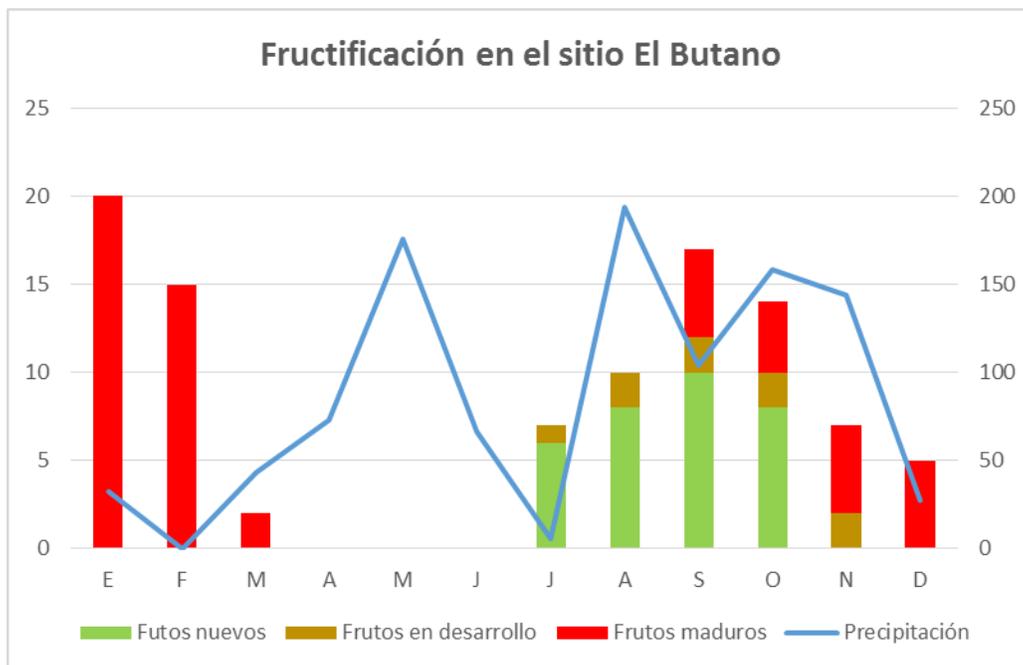
**En Agua de Lardín.** El desarrollo de los frutos de *Picea martinezii* T.F. Patterson fue más largo que el de sus inflorescencias, comenzado en el mes de julio prolongándose hasta el mes de octubre. El mayor porcentaje de frutos maduros se presentó en el mes de enero (20%), corresponden a la fructificación en años anteriores (Figura 25).

**Figura 25. Desarrollo de la fructificación en el sitio Agua de Lardín.**



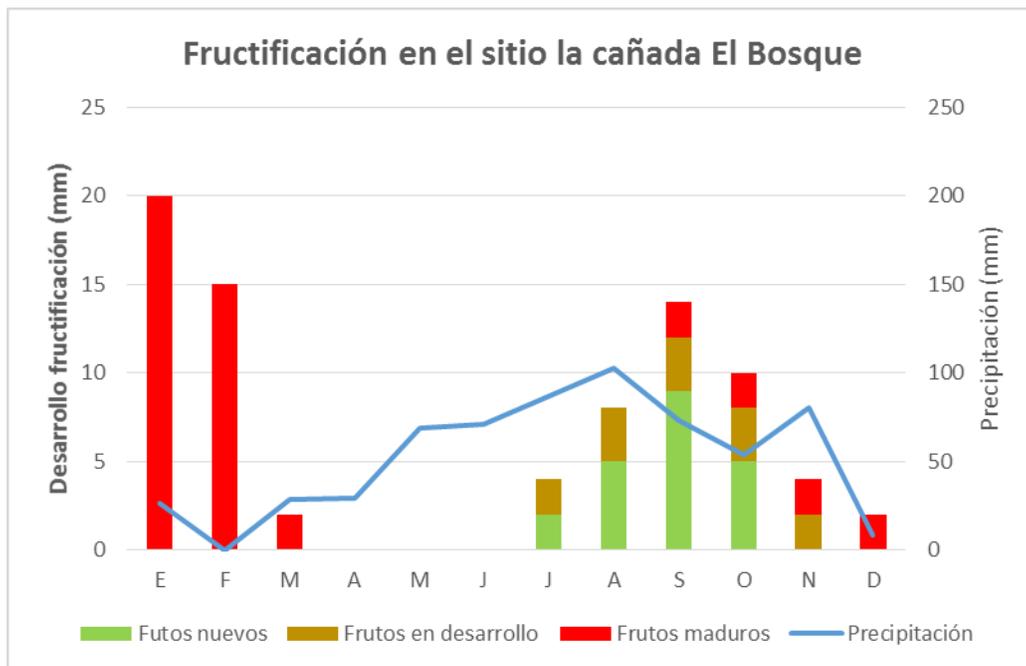
**El Butano.** El desarrollo de los frutos de *Picea martinezii* T.F. Patterson fue más largo que el de sus inflorescencias, comenzado en el mes de julio prolongándose hasta el mes de noviembre. El mayor porcentaje de frutos maduros se presentó en el mes de enero (20%), corresponden a la fructificación en años anteriores (Figura 26).

**Figura 26. Desarrollo de la fructificación en el sitio El Butano.**



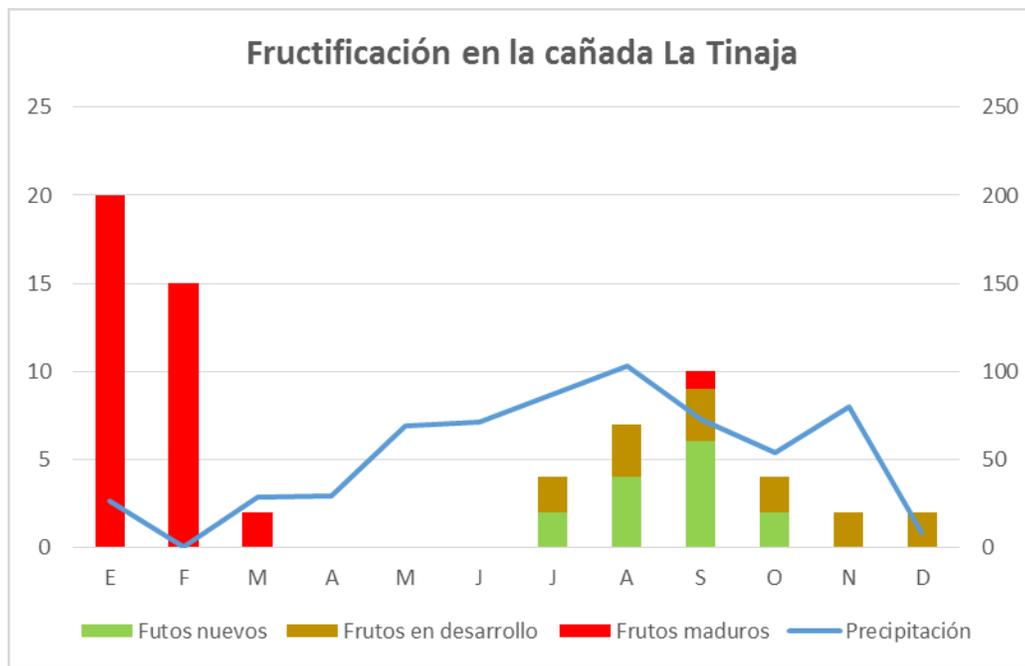
**La cañada El Bosque.** El desarrollo de los frutos de *Picea martinezii* T.F. Patterson fue más largo que el de sus inflorescencias, comenzado en el mes de julio prolongándose hasta el mes de octubre. El mayor porcentaje de frutos maduros se presentó en el mes de enero (20%), corresponden a la fructificación en años anteriores (Figura 27).

**Figura 27. Desarrollo de la fructificación en el sitio la cañada El Bosque.**



**La cañada La Tinaja.** El desarrollo de los frutos de *Picea martinezii* T.F. Patterson fue más largo que el de sus inflorescencias, comenzado en el mes de julio prolongándose hasta el mes de diciembre. El mayor porcentaje de frutos maduros se presentó en el mes de enero (20%), corresponden a la fructificación en años anteriores (Figura 28).

**Figura 28. Desarrollo de la fructificación en el sitio la cañada La Tinaja.**

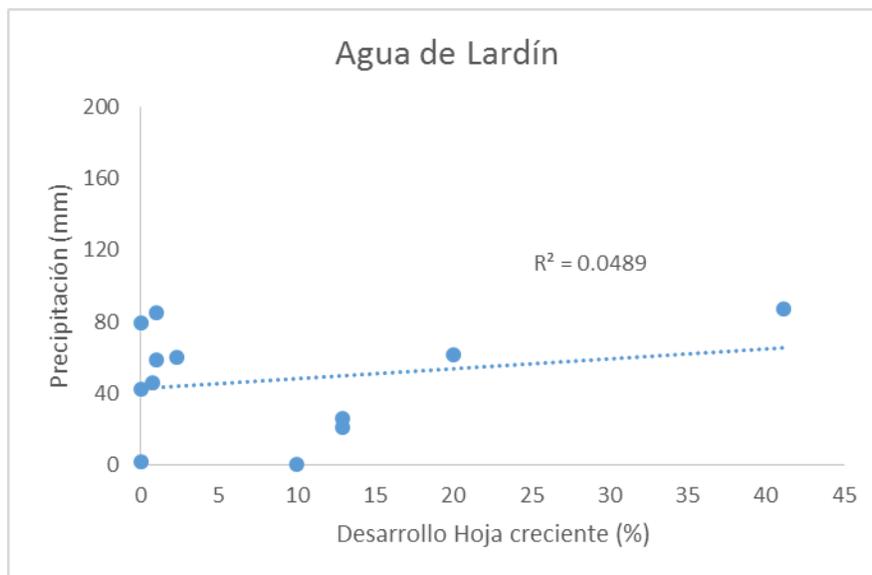


### 2.8.6 Correlación

Se exponen las variables que fueron seleccionadas en los modelos sobre porcentajes de desarrollo foliar (hoja creciente) así como la precipitación de la localidad. Así mismo, se consideraron los índices incluidos en las ecuaciones como criterio para el mejor ajuste del modelo como el coeficiente de determinación ( $R^2$ ) con un valor alto.

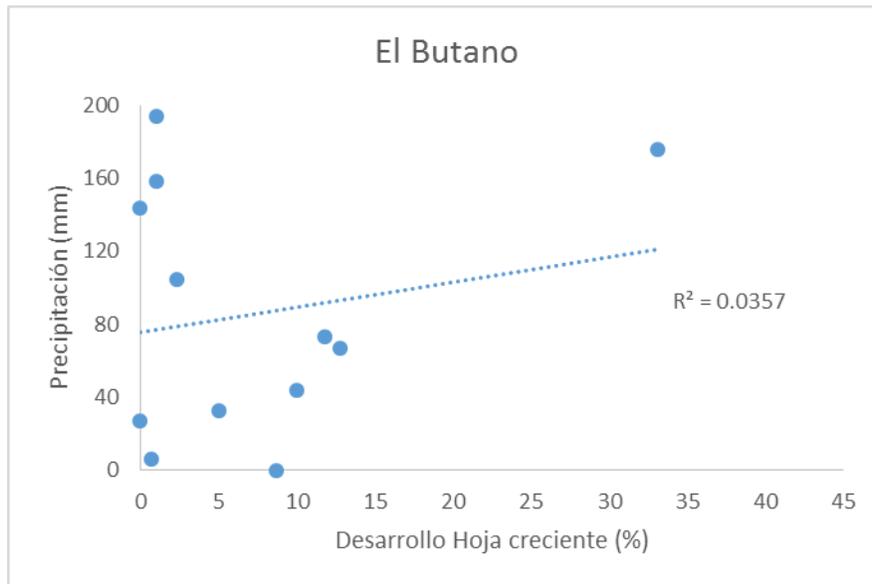
**Agua de Lardín**, el coeficiente de determinación tiene un valor de  $R^2 = 0.0489$  lo que indica que existe una baja relación entre variables (Figura 29).

**Figura 29. Correlación en Agua de Lardín.**



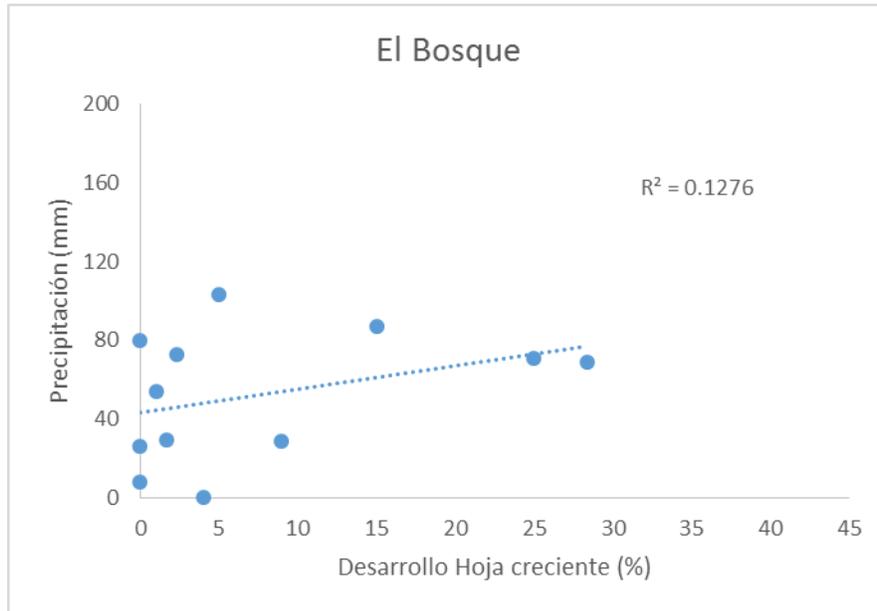
**El Butano**, el coeficiente de determinación tiene un valor de  $R^2 = 0.03$  lo que indica que pudieran existir otros factores que influyen en mayor proporción con el desarrollo foliar (Figura 30).

**Figura 30. Correlación en El Butano.**



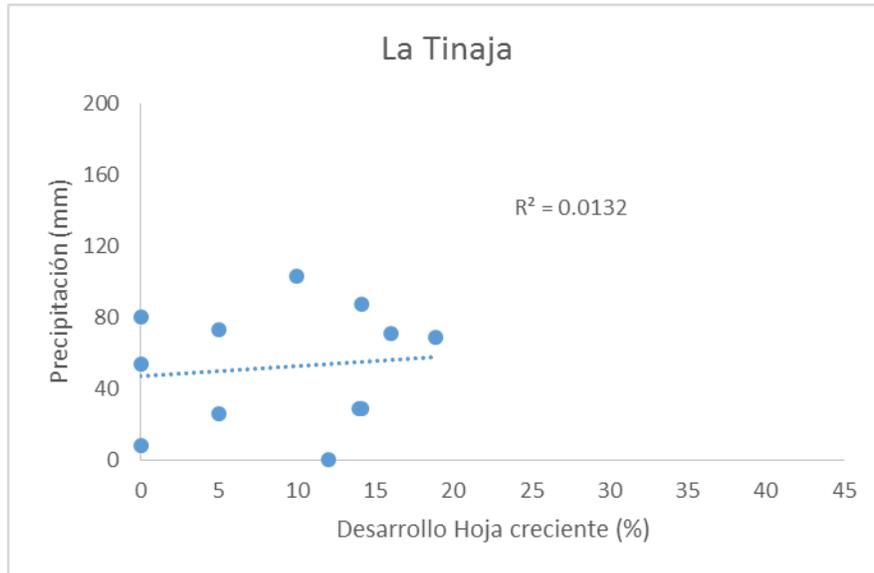
**La cañada El Bosque**, el coeficiente de determinación tiene un valor de  $R^2= 0.12$  esto indica una baja relación entre la precipitación y el desarrollo foliar (Figura 31).

**Figura 31. Correlación en El Bosque.**



**La cañada La Tinaja**, el coeficiente de determinación tiene un valor de  $R^2 = 0.01$  esto indica que pudieran existir otras variables con una mayor relación al desarrollo foliar (Figura 32).

**Figura 32. Correlación en La Tinaja.**



### 2.8.7 ANOVA

Los resultados del Análisis de Varianza (ANOVA) con mediciones repetidas para la hoja creciente indicaron que no existen diferencias significativas entre sitios. Se obtuvo un resultado de  $P = 0.90$  por lo que se acepta la hipótesis nula, ya que no existen diferencias significativas (Tabla 12), por lo tanto, no influye la precipitación en el desarrollo foliar en ninguno de los sitios.

**Tabla 12. Análisis de Varianza**

ANÁLISIS DE VARIANZA						
	Suma de cuadrados	G.L.	SS	F	P	F <sub>tab</sub>
Entre grupos	30.4	3	10.1	0.10	0.96	2.8
Dentro de los grupos	4084.3	40	102.1			
Total	4114.7	43				

## 2.9 CONCLUSIONES

Considerando los resultados anteriores, los resultados obtenidos mediante el índice de valor de importancia (IVI), *Picea martinezii* T.F. Patterson no fue la especie con mayor valor de IVI, por tal razón se rechaza la primera hipótesis.

En los sitios de Agua de Lardín, el Butano y cañada La Tinaja la mayoría de los individuos de *Picea martinezii* T.F. Patterson se observan en las categorías diamétricas menores, pero con presencia de árboles en las categorías intermedias y mayores, por lo tanto se acepta la segunda hipótesis (esto representa un indicador de perturbaciones de severidad baja a intermedia) excepto para el sitio la cañada El Bosque donde solo se encuentran individuos en las categorías menores, esto puede indicar que existe una reproducción que puede favorecer a la especie ya que se encuentra en estado de peligro de extinción.

El desarrollo de las etapas fenológicas resultó variable entre las localidades, encontrándose las etapas de foliación con un mayor desarrollo. Y la ausencia de la floración y para la fenofase de fructificación se encontró frutos viejos de años anteriores. Sin embargo, no se encontró una relación de los factores climáticos con el desarrollo de la fenología de *Picea martinezii* T.F. Patterson, al menos no inmediatamente, por lo tanto, se rechaza la tercera hipótesis.

## CAPITULO III



Vista panorámica del área de muestreo  
Foto: Valeria Valdes, 2017

### 3. Volumen

#### 3.1 Resumen

*Picea martinezii* T.F. Patterson es una especie endémica en categoría de riesgo de acuerdo a la Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010. Por lo que no se puede hacer aprovechamiento. El objetivo es aplicar una ecuación alométrica para estimar el volumen. Se utilizó la información de 72 árboles distribuidos en 11 categorías diamétricas, provenientes de cuatro localidades del sureste de Nuevo León. Se midieron las siguientes variables dendrométricas: altura total (m), diámetro a 1.3m (cm). Se comparó el volumen estimado utilizando un factor de forma estándar para el género *Picea* con el volumen estimado, utilizando la fórmula de Smalian. Para la elaboración de la tabla de volumen total con corteza, se ensayaron quince modelos de regresión de doble entrada. El resultado reveló que el total de modelos probados presentaron buen ajuste, el modelo de Schumacher- Hall:  $V = \beta_0 \cdot (D)^{\beta_1} \cdot (H)^{\beta_2}$  fue el de mejor ajuste para la elaboración de la tabla de volumen, obteniéndose el coeficiente de determinación ajustado de 0.99 y un REMC de 0.0010.

**Palabras claves:** Tabla de volumen, *Picea martinezii* T.F. Patterson.

### 3.2 Abstract

*Picea martinezii* T.F. Patterson is an endemic species in risk category according to Official Mexican Standard NOM-059-SEMARNAT-2010. So you cannot make use of it. The objective is to apply an allometric equation to estimate the volume. We used information from 72 trees distributed in 11 diametric categories, from four localities in the southeast of Nuevo León. The following dendrometric variables were measured: total height (m), diameter at 1.3m (cm). The estimated volume was compared using a standard form factor for the genus *Picea* with the estimated volume using the Smalian formula. For the elaboration of the total volume table with bark, fifteen regression models of double entry were tested. The result revealed that the total of tested models presented good fit, the Schumacher-Hall model:

$V = \beta_0 * (D)^{\beta_1} * (H)^{\beta_2}$  was the best fit for the preparation of the volume table, obtaining the adjusted determination coefficient of 0.99 and an REMC of 0.0010.

**Key words:** Table of volume, *Picea martinezii* T.F. Patterson.

### 3.3 Introducción

La estimación de las existencias maderables que puede proporcionar una masa forestal es una de las tareas más importantes de los manejadores y los propietarios de terrenos forestales.

La estimación del volumen individual del árbol es un problema relevante de la dendrometría y de la realización de inventarios forestales. La dificultad en la determinación directa de dicho volumen a través de la cubicación de secciones hace conveniente contar con modelos matemáticos que, basados en una muestra objetivamente seleccionada permiten estimar el volumen de los individuos a través de mediciones simples como lo son el diámetro a altura de pecho (*dap*, en cm) y la altura total (*h*, en m) (Crechi, *et al.*, 2006).

Las variables de mayor interés son el diámetro y la altura, también son las de mayor uso para la estimación del volumen y biomasa, son utilizadas por la sencillez, economía de medir y están relacionadas con el volumen, crecimiento y otros parámetros del ecosistema.

A través del tiempo se han diseñado diversas metodologías para la estimación del volumen y en algunas metodologías es necesario conocer aspectos de los arboles como la forma del tronco del árbol para estimar el volumen total.

Los métodos para determinar el volumen son el de tipo dendrométrico y trata de asimilar el tronco en figuras geométricas sencillas, otro método es el de los coeficientes mórficos que comparan el volumen del tronco con el de un cilindro y el último método es el de funciones de perfil las cuales por medio de los modelos matemáticos relacionan el diámetro y altura.

Los métodos para la determinación directa del volumen en árboles individuales o métodos no destructivos asumen que la forma del fuste del árbol, ya sea como un todo o por secciones, es semejante a sólidos geométricos básicos (cilindro, paraboloides, cono o neiloide) o troncos de estos sólidos. El volumen de esos sólidos se obtiene mediante fórmulas específicas, las que a su vez se utilizan para la cubicación de árboles y trozas.

### **3.4 Tablas de volumen**

Otras formas de conocer el volumen de los árboles son utilizando tabla de volúmenes. Estas son una expresión tabulada que establece los volúmenes de árboles de acuerdo a uno o más de sus dimensiones fáciles de medir, tales como diámetro normal, la altura y la forma. Las tablas de volúmenes aplicables a una sola especie se conocen como tablas específicas.

Toda tabla de volumen es de aplicación en una superficie forestal limitada, y tal restricción de su uso estará dada por la información obtenida, además es representada por una ecuación estadísticamente factible (Fucaraccio y Staffieri, 1999; Rondeux, 2010).

Es importante considerar la dinámica en la estructura arbórea en las masas forestales, ya que originan incertidumbre en las estimaciones volumétricas, considerando la información de una ecuación o tabla de volumen específica obsoleta después de un aprovechamiento maderable (Velasco, *et al.*, 2006); por ello, es necesaria la constante actualización de las tablas de volumen.

La realización de las tablas de volumen con método no destructivo, precisa el uso de los modelos matemáticos. El modelo matemático, consiste en un conjunto de ecuaciones o gráficos que muestran las relaciones cuantitativas entre las variables (FAO, 1980).

### **3.5 Objetivo específico**

- Generar una tabla de volumen para *Picea martinezii* T.F. Patterson.

### **3.6 Hipótesis específica**

- A través de métodos no destructivos se puede generar una tabla de volumen de árboles en pie para *Picea martinezii* T.F. Patterson.

### 3.7 Información de campo

Se realizaron recorridos en campo previos a la toma de datos, a fin de ubicar árboles representativos. Se llevó a cabo un muestreo dirigido de cada uno de los individuos de *Picea martinezii* T.F. Patterson, los cuales fueron elegidos tomando en cuenta las siguientes consideraciones: ser representativos de la especie, sin evidencia de daños, estar completamente sanos y árboles conformados de un solo fuste.

El total de árboles muestreados suman 72 (Tabla 13), los cuales cumplen con los criterios de selección de los árboles muestra, de acuerdo a la literatura forestal aconseja un mínimo de 100 árboles para elaborar una tabla de volumen (Belyea, 1931), sin embargo, *Picea martinezii* T.F. Patterson es una especie en peligro de extinción con un reducido número de ejemplares por lo tanto no fue posible encontrar ese número de árboles.

**Tabla 13. Tamaño de muestra**

POBLACIÓN	PROPIEDAD	MUNICIPIO	NÚMERO DE ÁRBOLES
Agua de Lardín	Propiedad Privada: Agua de Alardín	Aramberri	9
El Butano	Ejido la Trinidad	Montemorelos	18
El Bosque	Ejido la Encantada	Zaragoza	13
La Tinaja	Ejido la Encantada	Zaragoza	32
Total			72

### 3.8. Análisis de la información

Con la información de campo se creó una base de datos, a través de hojas de cálculo EXCEL®. Los procedimientos de cálculo empleados para la obtención de los parámetros dasométricos de interés son los siguientes:

#### 3.8.1 Cálculo del área basal (G)

Para este cálculo se empleó la fórmula:

$$G = \frac{\pi}{4} * (d)^2$$

Dónde:

G= área basal en m<sup>2</sup>

d= diámetro a la altura de 1.30m.

#### 3.8.2 Cálculo del volumen (V)

Se procedió al cálculo con la ecuación de volumen, utilizándose un coeficiente mórfico de 0.5 (valor promedio acorde a la literatura) para realizar una estimación adecuada de este parámetro.

$$V = G * HT * 0.5$$

Dónde:

V = volumen

G= área basal

HT= altura total

0.5= coeficiente mórfico

La noción de forma del árbol sirve o ayuda a calcular su volumen geométrico. La forma; como se puede apreciar, va variando con la altura, pues los diámetros decrecen con ésta. Para valorar la forma, se recurre entre otras cosas a relacionar el volumen del árbol con el de un sólido geométrico de revolución.

**Tabla 14. El volumen de los sólidos es conocido:**

Tipo de conoide	Volumen	Factor de forma
Cilindro	$\pi/4 * D^2 * H$	1
Paraboloide	$\pi/4 * D^2 * H * 1/2$	0.5
Cono	$\pi/4 * D^2 * H * 1/3$	0.33
Neiloide	$\pi/4 * D^2 * H * 1/4$	0.25

Una vez obtenidos los datos de diámetro, altura total y volúmenes para cada árbol, fueron ajustados los modelos matemáticos (Tabla 15), con ayuda del software StatSoft STATISTICA® versión 10; dicho ajuste se realizó mediante técnicas de regresión.

### 3.8.3 Modelos Matemáticos Ensayados

En el estudio, se emplearon algunos modelos matemáticos de uso común en la construcción de tablas de volumen.

Para la estimación del volumen total se ajustaron 15 modelos de dos entradas (Tabla 15).

**Tabla 15. Expresión matemática de las tarifas volumétricas de dos entradas ajustadas (v = volumen, d = diámetro normal, h = altura total,  $\beta$  = coeficientes)**

Modelos	Nombre	Expresión
1	Schumacher-Hall	$V= \beta_0*(D)^{\beta_1}*(H)^{\beta_2}$
2	Spurr	$V= \beta_0*(D)^{2*H}$
3	Spurr potencial	$V= \beta_0*(D*H)^{\beta_1}$
4	Spurr con término independiente	$V= \beta_0+\beta_1*(D)^{2*H}$
5	Variable combinada generalizada incompleta	$V= \beta_0+\beta_1*H+\beta_2*(D)^{2*H}$
6	Fórmula australiana	$V= \beta_0+\beta_1*(D)^2+\beta_2*(D)^{2*H}+\beta_3*H$
7	Honer	$V= (D)^2/\beta_0+\beta_1/H$
8	Newnham	$V= \beta_0+\beta_1*(D)^{\beta_2}*(H)^{\beta_3}$
9	Comprensible (Meyer)	$V=\beta_0+\beta_1*(D)+\beta_2*(D)*(H)+\beta_3*(D)^2+\beta_4*(H)+\beta_5*(D)^{2*H}$
10	Meyer modificada	$V= \beta_0+\beta_1*(D)+\beta_2*(D)*(H)+\beta_3*(D)^2+\beta_4*(D)^{2*H}$
11	Naslund	$V= \beta_0+\beta_1*(D)^2+\beta_2*(D)^{2*H}+\beta_3*(H)^2+\beta_4*(D)*(H)^2$
12	Australiana	$V= \beta_0+\beta_1*(D)^2+\beta_2*(H)+\beta_3*(D)^{2*H}$
13	De la variable combinada	$V= \beta_0+\beta_1*(D)^{2*H}$
14	Schumacher-Hall logarítmica	$V= \text{Exp}(\beta_0+\beta_1*\text{Log}(D)+\beta_2*\text{Log}(H))$
15	Spurr logarítmica	$V= \text{Exp}(\beta_0+\beta_1*\text{Log}(D)^{2*H})$

### 3.8.4 Evaluación de la bondad de ajuste de los modelos.

La evaluación de la capacidad de ajuste del modelo se basó en el análisis numérico y gráfico de los residuos, es decir de la diferencia entre el valor observado y el valor predicho por el modelo. Se utilizaron para ello los estadísticos: Coeficiente de Determinación Ajustado estimado para regresión no lineal ( $R^2$ ) (Ryan, 1997) y la Raíz del Cuadrado Medio del Error (*REMC*).

Dichos estadísticos tienen por expresiones:

#### 3.8.5 Regresión no lineal ( $R^2$ )

$$R^2 = r_{Y_1\hat{Y}_1}$$

Donde:

$r_{Y_1\hat{Y}_1}$  = Es el coeficiente de correlación entre el valor observado ( $Y_1$ ) y el valor predicho ( $\hat{Y}_1$ ) de la variable dependiente.

#### 3.8.6 Raíz del Cuadrado Medio del Error (*REMC*).

$$REMC = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_1 - \hat{Y}_1)^2}{n - p}}$$

Donde:

$Y_1$  = Valor observado de la variable dependiente

$\hat{Y}_1$  = Valor predicho por el modelo

$n$  = Número de datos usados en el ajuste del modelo

$p$  = Número de parámetros del modelo

### 3.8.7 Evaluación de los modelos

La evaluación de la validación de los modelos se basó solamente en el análisis gráfico y numérico de los residuos a través de la raíz del error medio cuadrático (REMC), que evalúa la precisión del modelo, y del error medio (e), que evalúa su sesgo.

### 3.9 Resultados y discusión

La Tabla 16 muestra los valores de los parámetros y los estadísticos de ajuste del modelo seleccionado, el cual corresponde al modelo 1 Schumacher- Hall ( $V = \beta_0 \cdot (D)^{\beta_1} \cdot (H)^{\beta_2}$ ).

**Tabla 16. Coeficientes de regresión estimados y criterios de selección.**

Modelos	Parámetros						CME	REMC	R2
	$\beta_0$	$\beta_1$	$\beta_2$	$\beta_3$	$\beta_4$	$\beta_5$			
1	0.000039	1.998876	1.001389				0.00000	0.00106325	0.99999949
8	0.000105	0.000039	1.999022	1.001400			0.00000	0.00106827	0.99999949
9	-0.000717	0.000090	-0.000001	-0.000003	0.000019	0.000039	0.00000	0.00108966	0.99999949
10	-0.000478	0.000076	0.000000	-0.000003	0.000039		0.00000	0.0010821	0.99999949
14	-10.1455	1.9989	1.0014				0.00000	0.00106325	0.99999949
11	0.000185	0.000000	0.000039	-0.000001	0.000000		0.00000	0.00108412	0.99999948
6	-0.000154	-0.000001	0.000039	0.000040			0.00000	0.00108851	0.99999947
12	-0.000154	-0.000001	0.000040	0.000039			0.00000	0.00108851	0.99999947
5	-0.000318	0.000032	0.000039				0.00000	0.0011741	0.99999938
2	0.000039						0.00000	0.00117132	0.99999936
4	0.000094	0.000039					0.00000	0.00117132	0.99999936
13	0.000094	0.000039					0.00000	0.0011765	0.99999936
15	-6.27101	0.25584					0.00237	0.04868364	0.99891149
7	857.9970	-1.4946					0.19603	0.4427503	0.9099707
3	0.019838	0.111908					0.25815	0.50807985	0.88144221

R2= Coeficiente de determinación, CME= Cuadrado medio del error, REMC= Raíz cuadrada del medio del error.

Según se puede observar en la tabla anterior, los modelos lineales tienen mejor ajuste estadístico, consiguiendo los mayores valores de R2 y los más bajos en REMC. El modelo número 3, refleja un alto nivel de raíz cuadrada del medio del error, sobre el resto de modelos, lo que sugiere, que no es elegible para propósitos de este trabajo.

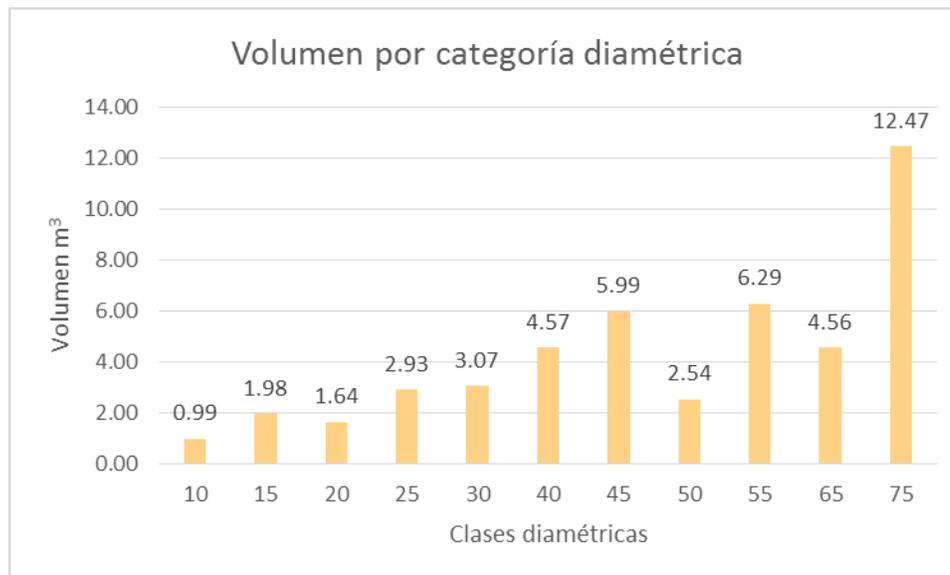
De acuerdo a este contexto, aunque el total de modelos ensayados presentan buen ajuste, el de la variable combinada aritmética propuesto por Schumacher- Hall, se

posiciona como el de mejor ajuste, razón definitiva en la selección de su ecuación:  $V = \beta_0 * (D)^{\beta_1} * (H)^{\beta_2}$  para estimar el volumen con corteza para *Picea martinezii* T.F. Patterson, es un modelo complejo por presentar tres coeficientes.

Como segundo mejor modelo, el propuesto por Newnham ( $V = \beta_0 + \beta_1 * (D)^{\beta_2} * (H)^{\beta_3}$ ), aunque un poco más complejo por presentar cuatro coeficientes en su ecuación, es preciso, de buen comportamiento y comúnmente utilizado.

El volumen por categoría diamétrica por el modelo Schumacher- Hall (Figura 33), fue un total de 47.03 m<sup>3</sup>. La distribución toma forma de J hasta la clase 45, exceptuando las categorías diamétricas 15 y 25, donde se encuentra un mayor número de frecuencias.

**Figura 33. Volumen por categoría diamétrica por el modelo Schumacher-Hall**



La tabla de volumen generada (Tabla 17), es una de doble entrada, valiéndose de datos de diámetro normal expresado en cm, altura total expresada en m, y los parámetros estimados 0.000039, 1.998876 y 1.001389; los datos de salida son volumen fustal con corteza en m<sup>3</sup>.

**Tabla 17. Tabla de volumen  $v=0.000039*(D)^{1.998876}*(H)^{1.001389}$** 

D/H	5	10	15	20	25	30	35	40
10	0.01961945	0.08833236						
15	0.04412367	0.15698455						
20		0.24522687	0.23560951					
25		0.35305437	0.36804758	0.49092628				
30		0.48046301	0.52987996	0.70678905	0.88376025			
35			0.72110061	0.96185183	1.20268758			
40			0.9417044	1.2561078	1.5706216	1.88522339	2.19989837	
45			1.19168692	1.58955108	1.98755492	2.38567013	2.78387796	
50					2.45348106	2.94492313	3.43647954	3.928133862
55					2.9683942	3.56297543	4.157695	4.752533024
60						4.23982072	4.94751697	5.655354175
65						4.97545324	5.80593873	6.636589637
70							6.73295411	7.696232352

### 3.10 Conclusiones

A través de métodos no destructivos se desarrollaron modelos de volumen total árbol, incluyendo la corteza para la especie *Picea martinezii* T.F. Patterson, con datos procedentes de todas las condiciones y tipos de sitios que se consideran como representativos de la especie y así generar una tabla de volumen de árboles en pie para la especie. Por lo tanto, se acepta la hipótesis.

Para esta especie, estos modelos son novedosos al no existir antecedentes bibliográficos de su utilización y esto es porque es una especie que se encuentra en la Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010 y su aprovechamiento maderable no es posible ya que se encuentra en la categoría de riesgo.

La ecuación resultante es aplicable para zonas con condiciones similares en cuanto a suelo, clima y características del arbolado representativas de la especie.

## CAPITULO IV



Vista panorámica del área de muestreo  
Foto: Valeria Valdes, 2017

### 4. Captura de carbono

#### 4.1 Resumen

Se aplicó una ecuación para determinar el carbono en *Picea martinezii* T.F. Patterson. Tal ecuación es de la forma  $Y = b X^k$ , donde Y es el contenido de biomasa o de carbono, y X el diámetro normal (DN). Para estimar los valores  $b$  y  $k$  del modelo se utilizaron datos de 72 árboles de un área representativas de la especie, con diámetro normal entre 6.5 y 75 cm de los sitios Agua de Lardín en el municipio de Arramberri, El Butano en el municipio de Montemorelos, Cañada el Bosque y Cañada La Tinaja en el municipio de Gral. Zaragoza, todos en el estado de Nuevo León. A cada árbol se le determinó la biomasa, contenido de carbono, dióxido de carbono y oxígeno. La captura de carbono de *Picea martinezii* T.F. Patterson es de 72,851.6 Ton/ha. La biomasa total es de 145,703.2 Ton/ha. Con la biomasa y el Diámetro (1.30) de los 72 árboles se obtuvo el ajuste de los parámetros  $b$  y  $k$  del modelo propuesto ( $B = 0.08218 (D)^{2.5712}$ ). El parámetro para esta ecuación fue estimada con un coeficiente de determinación ( $R^2$ ) de 0.96.

**Palabras claves:** captura de carbono, *Picea martinezii* T.F. Patterson.

## 4.2 Abstract

An equation for the determination of carbon in *Picea martinezii* T.F. Patterson. This equation is of the form  $Y = b X^k$ , where  $Y$  is the biomass content of carbon, and  $X$  the normal diameter (DN). To estimate the values with the model, data from 72 trees of a representative area of the species were used, with the normal diameter between 6.5 and 75 cm of the sites Agua de Lardín in the municipality of Arramberri, El Butano in the municipality Of Montemorelos, Cañada El Bosque and Cañada La Tinaja in the municipality of Gral. Zaragoza, all in the state of Nuevo Leon. Biomass, carbon content, carbon dioxide and oxygen were determined for each tree. The carbon capture of *Picea martinezii* T.F. Patterson is 72,851.6 Ton / ha. The total biomass is 145,703.2 Ton / ha. With the biomass and diameter (1.30) of the 72 trees, the adjustment of the parameters and model of the proposed model was obtained ( $B = 0.08218$  ( $D$ )  $2.5712$ ). The parameter for this equation was estimated with a coefficient of determination ( $R^2$ ) of 0.96.

**Key words:** carbon capture, *Picea martinezii* T.F. Patterson

## 4.3 Introducción

El concepto del ciclo de carbono en la naturaleza y la capacidad de absorción del suelo y los océanos ha sido conocido durante largo tiempo, sin embargo, no fue hasta 1976 que la idea de los bosques como “almacenadores” de las emisiones de combustibles fósiles fue propuesto por primera vez (WRI, 2000).

Los ecosistemas forestales pueden almacenar cantidades significativas de gases de efecto invernadero (GEI) y en particular de  $CO_2$ . Como producto de este hecho, en las últimas décadas ha surgido un interés considerable en incrementar el contenido de carbono en la vegetación terrestre a través de la conservación forestal, la reforestación, la creación de granjas forestales y otros métodos de manejo del suelo. Un gran número de estudios han reportado el gran potencial que poseen los

bosques y los ecosistemas agrícolas para almacenar carbono es considerable. (Dixon *et al.*, 1994; Dixon *et al.*, 1996; Masera *et al.*, 1995; De Jong *et al.*, 1995).

El renovado interés en esta función ecológica de los ecosistemas terrestres aparece cuando investigadores y administradores públicos empiezan a entender el valor total de la naturaleza y se enfocan a desarrollar esquemas para conservar y restaurar dicho valor (Department for Transport, Local Government and the Regions, 2002).

En México, el organismo responsable de la operación y la política forestal, es la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR), destinada a impulsar las actividades productivas, la conservación y restauración de los bosques, selvas y vegetación de zonas áridas y semiáridas del país.

La CONAFOR, a través del programa PRONAFOR, el más importante del sector forestal, otorga incentivos a los propietarios de los terrenos forestales, para implementar distintos conceptos de apoyo, como es el caso de Pago por Servicios Ambientales del Bosque.

Ante tal interés de conocer el contenido de carbono, es necesaria la estimación de la biomasa así como el los incrementos o decrementos del C almacenado en los bosques que constituyen una de las reservas en los ecosistemas del mundo (Houghton, 2007).

La estimación adecuada de la biomasa de manera individual o de un bosque, es un elemento de gran importancia debido a que ésta permite determinar el carbono y representa la cantidad potencial de CO<sub>2</sub> que puede ser liberado a la atmósfera o conservado y fijado en una determinada área (Brown, 1992).

#### 4.4 Modelos alométricos

Los modelos alométricos son funciones que estiman las relaciones entre biomasa, volumen y carbono total del árbol en función de variables de fácil medición: altura, diámetro (1.30m) (FAO y CIRAD, 2012).

#### 4.5 Objetivo específico

- Determinar el contenido de carbono.

#### 4.6 Hipótesis específica

- Con la información extraída de una tabla de volumen se puede generar una ecuación alométrica para estimar el contenido de carbono de *Picea martinezii* T.F. Patterson.

#### 4.7 Información de campo

Se muestrearon un total de 72 árboles de *Picea martinezii* T.F. Patterson y se registraron variables comunes como el diámetro (1.30m) y la altura. Para después determinar en gabinete mediante una ecuación la cantidad de biomasa y el contenido de carbono en esta especie.

#### 4.8 Análisis de la información

Con la información de campo se creó una base de datos, a través de hojas de cálculo EXCEL®. Una vez obtenidos los datos de diámetro, altura total y volúmenes para cada árbol, se ajustó el modelo alométrico con ayuda del software StatSoft STATISTICA® versión 10; dicho ajuste se realizó mediante técnicas de regresión.

#### 4.8.1 Selección de modelos alométricos

Después de obtener la biomasa y el diámetro (1.30m) de los distintos árboles, se seleccionó un modelo potencial que mide las relaciones alométricas y es uno de los más usados (Ter-Mikaelian y Korzukhin, 1997; Acosta *et al.*, 2002; Gómez, 2008).

$$Y = bX^k$$

Donde:

Y= biomasa aérea o carbono (kg);

X= diámetro (1.30m);

b y k= parámetros a estimar por el método de mínimos cuadrados.

#### 4.8.2 Estimación indirecta del contenido de carbono en la biomasa aérea:

Para la estimación indirecta por hectárea del contenido de carbono en la biomasa aérea del bosque, se tiene estimado que aproximadamente el 50% de la biomasa vegetal corresponde al carbono, por lo cual para estimar el carbono almacenado total se multiplicó la biomasa total (BT) por el factor 0,5 en ausencia de información específica (Agudelo, 2009).

$$CC = BT * 0.5$$

Dónde:

CC = carbono almacenado (ton/ha).

BT = biomasa total (ton/ha).

#### 4.8.3 Estimación indirecta del contenido de CO<sup>2</sup> en la biomasa aérea:

La conversión de las toneladas de carbono (C) a toneladas de dióxido de carbono (CO<sup>2</sup>), se realiza a través de la relación del peso molecular del CO<sup>2</sup> y el peso del átomo de C (OECC, 2005).

$$\text{CO}^2 = \text{C} * 44/12$$

Donde:

CO<sup>2</sup> = Dióxido de carbono

C= Carbono

#### 4.8.4 Estimación indirecta del contenido de O<sup>2</sup> en la biomasa aérea:

La producción neta de oxígeno por árboles se basa en la cantidad de oxígeno (O<sup>2</sup>) producido durante la fotosíntesis menos la cantidad de oxígeno consumido durante la respiración de la planta (Salisbury y Ross, 1978):

Fotosíntesis:  $n (\text{CO}^2) + n (\text{H}_2\text{O}) + \text{luz} \rightarrow (\text{CH}_2\text{O}) n + n\text{O}^2$

Respiración:  $(\text{CH}_2\text{O}) n + n\text{O}^2 \rightarrow n (\text{CO}^2) + n (\text{H}_2\text{O}) + \text{energía}$

Si la absorción de dióxido de carbono durante la fotosíntesis excede el carbono la liberación de dióxido por la respiración durante el año, el árbol acumulará carbono (captura de carbono). Así, un árbol que tiene una acumulación neta de carbono durante un año (árbol en crecimiento) también tiene una producción neta de oxígeno.

La cantidad de oxígeno producido se calcula a través de la captura neta de C por la relación del peso molecular del O<sup>2</sup> entre el peso del átomo de C (Nowak, et al. 2007).

Basado en pesos atómicos:

$$O^2 \text{ (kg/Año)} = CT \text{ (kg/Año)} \times 32/12$$

Donde:

O<sup>2</sup> = Oxígeno

CT= Captura de carbono total

#### 4.9 Resultados y discusión

Se ajustó la ecuación para el conjunto de todas las especies del tipo forestal siempreverde, para la especie de *Picea martinezii* T.F. Patterson. El modelo que mejor estima la biomasa es del tipo alométrico ( $Y=bX^k$ ) e incluye variables de diámetro (1.3m).

Estos modelos presentan un alto coeficiente de determinación ajustado ( $R^2$ ) y un bajo error estándar de estimación (S.E.E.) (Cuadro 11).

**Tabla 18. Modelo de mayor ajuste para estimar la biomasa aérea de bosques del tipo forestal siempreverde.**

Modelo	R <sup>2</sup>	SEE
$Y = bX^k$	.9635	.0622

La correlación de las variables empleadas y la tendencia de la relación entre ellas se muestran en la Figura 34; el primer cuadro (altura frente al diámetro), se observa que solamente dos árboles del total de la muestra medida ha superado los 70 cm de diámetro. Esta situación atípica, puede ser atribuida al ritmo del crecimiento del individuo, que está influenciado por factores internos (fisiológicos) y externos (ecológicos) como por el tiempo.

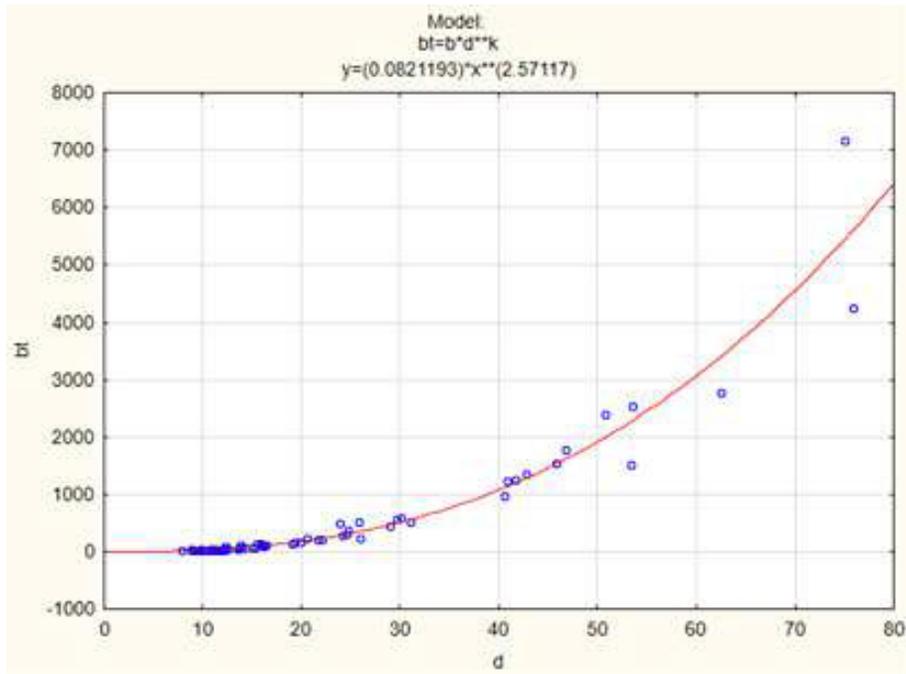


Figura 34. Biomasa aérea en función del DAP para *Picea martinezii* T.F. Patterson.

**Tabla 19. Volumen, biomasa, carbono, dióxido de carbono y oxígeno en *Picea martinezii* T.F. Patterson.**

CD	V	B	C	CO2	O2
10	3.97	3.43	1.71	6.29	4.57
15	7.91	5.55	2.78	10.19	7.41
20	6.57	4.36	2.18	8.01	5.83
25	11.71	7.74	3.87	14.21	10.34
30	12.27	8.25	4.13	15.14	11.01
40	18.26	12.97	6.48	23.79	17.31
45	23.97	17.55	8.78	32.21	23.43
50	10.16	7.67	3.84	14.08	10.24
55	25.17	19.60	9.80	35.97	26.17
65	18.24	15.06	7.53	27.63	20.10
75	49.89	43.51	21.76	79.85	58.09
<b>TOTAL</b>	<b>188.12</b>	<b>145.70</b>	<b>72.85</b>	<b>267.37</b>	<b>194.51</b>
V= Volumen (m <sup>3</sup> /ha), B= Biomasa (Ton/ha), C=Carbono (Ton/ha), CO2= Dióxido de carbono (Ton/ha), O2= Oxígeno (Ton/ha).					

Estimaciones realizadas por la FAO (2010) determinaron que los bosques del mundo almacenan 289 gigatoneladas de carbono correspondiendo el 44% en biomasa, también se estimó un volumen de aproximadamente 527 000 millones de m<sup>3</sup>, cifra correspondiente a un promedio de 131m<sup>3</sup> por hectárea, en el cuadro 12 observamos que nuestro volumen de 188 m<sup>3</sup> por hectárea de la especie estudiada está en el promedio mundial de m<sup>3</sup>.

El ser humano necesita 8 toneladas al día de oxígeno y la especie de *Picea martinezii* T.F. Patterson le proporciona el oxígeno necesario a 24 personas.

En países de primer mundo el objetivo de realizar las estimaciones es conocer la cantidad de recurso, estado que se encuentran para la conservación de los recursos generando servicios ambientales como almacenamiento de CO<sub>2</sub>, producción de oxígeno, evitar la erosión del suelo, protección de cuencas hidrológicas entre otras.

#### 4.10 Conclusiones

Mediante la información extraída de una tabla de volumen se generó una ecuación alométrica  $B= 0.08218(d)^{2.5712}$  con base en el diámetro (1.30m) para estimar el contenido de carbono de *Picea martinezii* T.F. Patterson, por lo tanto, se acepta la hipótesis.

El contenido de carbono en *Picea martinezii* T.F. Patterson equivale al 46.98% de la biomasa total del árbol.

Actualmente conocer las cantidades de carbono fijado abre la oportunidad al mercado de carbono en México, teniendo un impacto económico y una vía alternativa económicamente viable, proveedora de servicios ambientales como medida de evitar gases de efecto invernadero, sin embargo el pago por servicios ambientales en México solo consideran los servicios hidrológicos y conservación de la biodiversidad por parte de la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) y se está trabajando en la Reducción por Emisiones de Deforestación y Degradación (REDD+) para sentar los lineamientos para monitorear la captura de carbono en los diferentes ecosistemas forestales en México.

## 5. Conclusiones generales

De acuerdo con los resultados encontrados ha sido posible responder a las interrogantes planteadas en el estudio. Con respecto a la importancia de *Picea martinezii* T.F. Patterson en los sitios evaluados mediante el índice de valor de importancia (IVI), reporta que *Picea martinezii* T.F. Patterson no fue la especie con mayor valor de IVI, por tal razón se rechaza la primera hipótesis.

En cuanto a la estructura horizontal se encontró que en los sitios de Agua de Lardín, el Butano y cañada La Tinaja los individuos de *Picea martinezii* T.F. Patterson se observan en casi todas las categorías diamétricas excepto para el sitio la cañada El Bosque donde solo se encuentran individuos en las categorías diamétricas menores.

En la estructura vertical se encontró que en el sitio Agua de Lardín los individuos de *Picea martinezii* T.F. Patterson tenían el mayor promedio de altura a excepción de los otros sitios.

La fenología de *Picea martinezii* T.F. Patterson resultó variable entre los sitios, no se encontró una relación de las etapas fenológicas con los factores climáticos al menos no inmediatamente.

A través de métodos no destructivos se aplicó el modelo de Schumacher- Hall ( $V = \beta_0 * (D)^{\beta_1} * (H)^{\beta_2}$ ) para determinar el volumen de la especie *Picea martinezii* T.F. Patterson.

El contenido de carbono de *Picea martinezii* T.F. Patterson se determinó mediante la ecuación alométrica  $B = 0.08218(d)^{2.5712}$  con base en el diámetro (1.30m).

## 6. Bibliografía

- Acosta, M. M.; Vargas, H. J.; Velásquez, M. A. y Etchevers, B. J. D. 2002. Estimación de la biomasa aérea mediante el uso de relaciones alométricas en seis especies arbóreas en Oaxaca, México. *Agrociencia*. 36:725-736.
- Agudelo, M. (2009). Biomasa aérea y contenido de carbono en bosques de *Quercus humboldtii* y *Colombobalanus excelsa*: corredor de conservación de robles *Guantiva-La Rusia-Iguaque* (Santander-Boyacá). Tesis Profesional. Universidad Autónoma de Occidente, Santiago de Cali, Colombia.
- Alanís, G., Velazco, C., Foroughbakhch, R., Valdez, V. y Alvarado, A. 2004. Diversidad florística de Nuevo León: especies en categoría de riesgo. *CIENCIA UANL* 7(2): 209-217.
- Bauche P., P. R. Villavicencio G., A. Gallegos R. y M. Huerta M. 2002. Índices de diversidad aplicados a comunidades arbóreas en la zona de protección de flora y fauna "Sierra de Quila", estado de Jalisco. CUCBA, Universidad de Guadalajara. Guadalajara, Jalisco, México. 9 p.
- Bettinger, P. Boston, K. Siry, J.P. Grebner, D.L. 2009. *Forest Management and Planning*. Academic Press-Elsevier, San Diego, California, EUA. 331p.
- Brown, S. 1997. Estimating biomass and biomass change of tropical forests. A primer. *Fao, Montes* 134. Roma. 55 p.
- Brown, S. 1997. Estimating biomass and biomass change of tropical forests: a primer. *FAO Forestry Paper* 134. Rome, Italy. 55 p.
- Brown, S. 1999. Guidelines for inventorying and monitoring carbon offsets in forest-based projects. Winrock International for the World Bank. Arlington, VA, USA. 11 p.
- Brown, S., A. J. R. Gillespie & A. E. Lugo. 1989. Biomass estimation methods for tropical forest with applications to forest inventory data. *Forest Science* 35(4), 881-902.

- Brown, S., Lugo, A. and Chapman, J. 1986. Biomass of tropical tree plantations and its implications for the global carbon budget. *Canadian Journal of Forestry Research* 16:390-394.
- Cervantes, G. 2014. Crecimiento de *Pinaceas* Asociadas a Poblaciones Naturales de *Picea mexicana* Martínez en México. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, UAAAN. Saltillo, Coahuila, México. 5p.
- Chave, J., R. Condit, S. Aguilar, A. Hernández, S. Lao & R. Pérez. 2004. Error propagation and scaling for tropical forest biomass estimates. *Philosophical Transactions of the Royal Society London B. Biological Science* 359, 409-420.
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). 2016. Sistema Estatal de Información para el Desarrollo Rural Sustentable.
- Comisión Nacional del Agua (CNA). 1998. Cuencas hidrológicas. Escala 1:250000. México. [En línea]. 1 de abril de 2017. Disponible en [http://www.conabio.gob.mx/informacion/metadatos/gis/cue250kgw.xml?\\_http\\_cache=yes&\\_xsl=/db/metadatos/xsl/fgdc\\_html\\_xsl&\\_indent=no](http://www.conabio.gob.mx/informacion/metadatos/gis/cue250kgw.xml?_http_cache=yes&_xsl=/db/metadatos/xsl/fgdc_html_xsl&_indent=no)
- Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). 2015. Bosques y Cambio climático. [En línea]. 24 de septiembre de 2015. Disponible en: <http://www.conafor.gob.mx/web/temas-forestales/bycc/>
- Crechi, E., Fassola, H., Keller, A., Barth, S. 2006. Models estimation of individual tree volume with and without bark of *Pinus taeda* L. cultivated in north zone of Misiones. Argentina. 12 Las Jornadas Técnicas Forestales y Ambientales – FCF. UNaM – EEA Montecarlo. INTA. 8. 9 y 10 de Junio de 2006 – Eldorado. Misiones. Argentina.
- De Jong, B., G. Montoya-Gómez, K. Nelson, L. Soto-Pino, J. Taylor y R. Tipper. 1995. Community Forest Management and Carbon Sequestration: a Feasibility Study from Chiapas, México. *Interciencia* 20:6, 409-416.

- Del Rio M., Montes F., Cañellas I., Montero G. 2003. Revisión: Índices de diversidad estructural en masas forestales. CIFOR-INIA. Madrid, España. 12(1): 159-176 pp.
- Department for Transport, Local Government and the Regions. 2002. Economic valuation with stated preference techniques: summary guide. DTLGR. Gran Bretaña. Disponible en: [www.dtlr.gov.uk/about/economics/index2.htm](http://www.dtlr.gov.uk/about/economics/index2.htm)
- Dirección de Estudios del Territorio Nacional (DETENAL). 1977. Carta edafológica. G14C87. Aramberri. Escala 1:50,000.
- Dirección de Estudios del Territorio Nacional (DETENAL). 1978. Carta edafológica. F14A17. Zaragoza. Escala 1:50,000.
- Dirección de Estudios del Territorio Nacional (DETENAL). 1979. Carta edafológica. G14C46. Rayones. Escala 1:50,000.
- Dixon, R.K., J. Sathaye, O.R., Meyers, O.R. Masera, A.A. Makarov, S. Toure, W. Makundi y S. Wiei. 1996. Greenhouse Gas Mitigation Strategies: Preliminary Results from the U.S. Country Studies Program. *Ambio* 25:1, pp. 26-32.
- Dixon, R.K., S. Brown, A.M. Houghton, A.M. Solomon, M.C. Trexler y J. Wisniewski. 1994. Carbon Pools and Flux of Global Forests Ecosystems. *Science* 263: 185-190.
- FAO y CIRAD. 2012. Manual de Construcción de ecuaciones alométricas para estimar el volumen y la biomasa de los árboles. Del trabajo de campo a la predicción.
- FAO. 2010. Evaluación de los recursos forestales mundiales. Roma, Italia. 381 p.
- Farjón, A. 1990. Pinaceae: Drawings and Descriptions of the *Genera Abies, Cedrus, Pseudolarix, Keteleeria, Nothotsuga, Tsuga, Cathaya, Pseudotsuga, Larix* and *Picea*. Koeltz Scientific Books, Königstein, Germany.

- Flores-López, C. 2004. Indicadores reproductivos en tres poblaciones de *Picea mexicana* Martínez de México. Tesis de maestría en ciencias. Colegio de postgraduados. Montecillo, Texcoco, Edo. de México. 46 p.
- Flores-López, C., López-Upton, J., Vargas-Hernández, J.J. 2005. Indicadores reproductivos en poblaciones naturales de *Picea mexicana* Martínez. Departamento Forestal. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.
- Fournier, L.A. & C. Charpantier. 1975. El tamaño de la muestra y la frecuencia de observaciones en el estudio de las características fenológicas de los árboles tropicales. Turrialba 25: 45-48.
- Fucaraccio, F. y G. M. Sttafieri. 1999. Desarrollo y uso de ecuaciones de volumen y tablas de volumen en la República de Argentina. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. Universidad Nacional de La Plata. Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales. La Plata, Buenos Aires. Argentina. Informe Técnico UNLP. 26 p.
- Gadow, K.V., Orois S.S. y Álvarez G.J.G. 2007. Estructura y Crecimiento del Bosque.[Enlínea].28 de febrero de 2015. Disponible en: <http://www.usc.es/uxfs/Libros,44>. 287 pp.
- Gadow, K.V., Zhang C.Y., Wehenkel C., Pommerening A., Corral R.J., Korol M., Myklush S., Hui G.Y., Kiviste A. & Zhao X.H. 2012. Chapter 2. Forest structure and diversity. In: Pukkala T. & Gadow K.V. (eds.), Continuous Cover Forestry, Managing Forest Ecosystems 23, Springer Science+Business Media B.V. 55 p.
- García, E. y Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad (CONABIO). 1998. Climas (clasificación de Koppen, modificado por García). Escala 1:1000000. México. [En línea]. 1 de abril de 2017. Disponible en [http://www.conabio.gob.mx/informacion/cgi-bin/geo\\_metadatos\\_esp.cgi?id=36](http://www.conabio.gob.mx/informacion/cgi-bin/geo_metadatos_esp.cgi?id=36)

- Gómez, D. J. D. 2008. Determinación de los almacenes de carbono en los compartimentos aéreo y subterráneo de dos tipos de vegetación en la reserva de la biosfera "sierra de Huautla", Morelos, México. Colegio de Postgraduados. Tesis Doctorado en Ciencias. Montecillo, Texcoco, Estado de México. 194 p.
- González Z., M. 2008. Estimación de la biomasa aérea y la captura de carbono en regeneración natural de *Pinus maximinoi* H. E. Moore, *Pinus oocarpa* var. *ochoterenai* Mtz. y *Quercus* sp. en el norte del estado de Chiapas, México. Tesis de Magister Scientiae en Manejo y Conservación de Bosques Naturales y Biodiversidad. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Turrialba, Costa Rica.
- Houghton, R. A. 2007. Balancing the global carbon budget. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences* 35: 313-347.
- Jardel, P.E.J. 2011. El manejo forestal en México: conceptos básicos, antecedentes, estado actual y perspectivas. [En línea]. 28 de marzo de 2016. Disponible en [http://eramx.org/Estudios\\_y\\_proyectos/Estudios/Edo\\_Bosques/Libro\\_2011/2\\_Jardel\\_Manejo\\_3.doc](http://eramx.org/Estudios_y_proyectos/Estudios/Edo_Bosques/Libro_2011/2_Jardel_Manejo_3.doc)
- Justiniano, M.J. & T.S. Fredericksen. 2000. Phenology of tree species in Bolivian dry forests. *Biotropica* 32: 276–281.
- La Comisión de Estudios del Territorio Nacional (CETENAL). 1977. Carta geológica. G14C87. Aramberri. Escala 1:50000
- Ledig, F. T., G.E. Rehfeldt., C. Sáenz-Romero, C. Flores-López. 2010. Projections of suitable habitat for rare species under global warming scenarios. *American Journal of Botany*, 97(6): 970-987.
- Ledig, F.T., Hodgskiss, P.D., Krutovskii, K.V., Neale, D.B., Eguiluz-Piedra, T. 2004. Relationships among the spruces (*Picea*, Pinaceae) of southwestern North America. *Syst, Bot.*, 29(2): 275-295.

- Luna, A., 2013: Caracterización Arbórea De Dos Masas Forestales En El Municipio De Galeana, N.L. Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León, U.A.N.L., Linares, N.L. México.
- Magurran, A. 1988. Ecological diversity and its measurement. Princeton University Press, New Jersey. 179 p.
- Margalef, D.R. 1958. Information Theory in Ecology. *General Systematics*, 3: 36-71.
- Martínez, M. 1961. Una nueva especie de *Picea* en México. *Anales del Instituto de Biología*. Tomo XXXII: 137-42 pp.
- Masera, O. 1995. Carbon Mitigation Scenarios for Mexican Forests: Methodological Considerations and Results: *Interciencia* 20:6, 388-395.
- Masera, O., De Jong, B., Ricalde, I. y Ordóñez, A. 2000. Consolidación de la Oficina Mexicana para la Mitigación de Gases de Efecto Invernadero.
- Mendoza P., A. & L. Galicia. 2010. Aboveground and belowground biomass and carbon pools in highland temperate forest landscape in Central Mexico. *Forestry* 83(5), 497-506.
- Mostacedo, B. y Fredericksen, T. S. 2000. Manual de Métodos Básicos de Muestreo y Análisis en Ecología Vegetal. Proyecto de Manejo Forestal Sostenible (BOLFOR). Santa Cruz, Bolivia. 87 p.
- Müeller-Dombois, D. y Ellenberg, H. 1974. Aims and methods of vegetation ecology. John Wiley & Sons, Nueva York, EUA. 547 p.
- Müller-Using, B., y Alanis-Flores, G. 1984. Nuevos registros del pinabete de Chihuahua (*Picea chihuahuana* Martínez) en Nuevo León propuesta para la protección legal de dos áreas de especial interés ecológico. *In: Reunión Regional de Ecología Norte*, 25-27 Abr. 1984, Monterrey, Nuevo León, México. Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología Subsecretaría de Ecología, México. 130-132 pp.

- Návar, J. 2009. Biomass component equations for Latin American species and groups of species. *Annals Forest Science* 66(2), 208-216.
- Nowak, David. J; Hoehn, Robert and Crane, Daniel. E. 2007. Oxygen Production by Urban Trees in the United States. *Arboriculture & Urban Forestry* 33 (3): 220-226.
- Ochoa, S., Pérez, I., H.J. de Jong, B. 2008. Fenología reproductiva de las especies arbóreas del bosque tropical de Tenosique, Tabasco, México. *Revista de Biología Tropical*. Vol. 56 (2). San José.
- Oficina Española de Cambio Climático (OECC, 2005). Guía para la estimación de absorciones de dióxido de carbono.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO: MONTES, 1980). Estimación del volumen forestal y predicción del rendimiento con referencia especial a los trópicos. Vol. 1. Estimación del volumen. Roma. 3 p.
- Patterson, T.F. 1988. A new species of *Picea* (Pinaceae) from Nuevo León, México. *SIDA*. 13(2): 131-135.
- Pielou E. 1975. Ecological diversity. Jhon wiley & sons, New York. 165 pp.
- Pretzsch, H. 2009. Forest Dynamics, Growth and Yield. From Measurement to Model. SpringerVerlag Berlín Heidelberg, Alemania. 664 p.
- Priego, A., Morales, H., Fregoso, A., Márquez, R. y H. Cotler. 2003. Diagnóstico biofísico. In: Diagnóstico bio-físico y socio-económico de la cuenca Lerma-Chapala. INE, Dirección General de Investigaciones en Ordenamiento Ecológico y Conservación de Ecosistemas. 13-84 pp. [En línea]. 03 de septiembre de 2007. Disponible en: [http://www.ine.gob.mx/dgoece/cuencas/download/dag\\_lerma\\_chapala.pdf](http://www.ine.gob.mx/dgoece/cuencas/download/dag_lerma_chapala.pdf)
- Reid, N. y A. C. Cantú 1992. Apuntes sobre el estudio de fenología del matorral. Facultad de Ciencias Forestales, UANL (inédito) 9 p.

- Rügnitz T. M., M. C. León & R. Porro. 2009. Guía para la determinación de carbono en pequeñas propiedades rurales. Manual técnico 11, Centro Mundial Agroforestal (ICRAF)/ Consórcio Iniciativa Amazonica (IA). Lima, Perú.
- Ryan, T.P. 1997. Modern regression methods. John Wiley & Sons, New York.
- Rzedowski, J. 1978. Vegetación de México. Limusa, México D.F.
- Sakai, S. 2001. Phenological diversity in tropical forests. *Population Ecology* 43: 77-86.
- Salisbury, F.B., and C.W. Ross. 1978. Plant Physiology. Wadsworth Publishing Company, Belmont, CA. 422 pp.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT, 2010). Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, 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. (D.O.F) 30 de diciembre de 2010. México. 77 p. [En línea]. 29 de marzo de 2017. Disponible en: [http://dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5173091&fecha=30/12/2010](http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5173091&fecha=30/12/2010)
- Shannon, C.E. and W. Wiener. 1949. The Mathematical Theory of Communication. University Illinois Press, Urbana, IL.
- Talora, D.C. & P.C. Morellato. 2000. Fenologia de espécies arbóreas em floresta de planície litorânea do sudeste do Brasil. *Rev. Bras. Bot.* 23: 13-26
- Taylor, R. J., y T. F. Patterson. 1980. Biosystematics of Mexican spruce species and populations. *Taxon* 29 (4): 421-469 pp.
- Taylor, R., J. Patterson, T., F. y Harrod, R., J. 1994. Systematics of Mexican Spruce- Revisited. *Systematic Botany* 19(1): 47-59.
- Ter-Mikaelian and Korzukhin. 1997. Biomasa equation for sixto-five North American tree species. *For. Ecol. Manage.* 97:1-24.

- Trumbore, S., Brando, P., Hartmann, H. 2015. Forest health and global change. Science.
- Velasco B., E., S. Madrigal H., I. Vázquez C., A. González H., F. Moreno S. 2006. Manual para la elaboración de tablas de volumen fustal en pino. INIFAP-Conacyt-Conafor. México, D.F. México. Libro Técnico No. 1. 34 p.
- World Resources Institute (WRI, 2001). Evaluating carbon sequestration projects: A first attempt. World Resources Institute, Washington, D.C. Disponible en: [www.wri.org](http://www.wri.org).
- Yerena, I. 2010. Estimación del contenido de carbono total de especies arbóreas y arbustivas en áreas con diferente uso, en una fracción del Matorral Espinoso Tamaulipeco, Linares, N.L. Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma de Nuevo León, UANL. Linares, Nuevo León.
- Vargas-Larreta L., B. 2013. Manual de mejores prácticas de manejo forestal para la conservación de la biodiversidad en ecosistemas templados de la región norte de México. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. Conafor. Zapopan, Jalisco. 87 p
- Thomas, J. W. (Ed.) 1979. Wildlife habitats in managed forests the Blue Mountains of Oregon and Washington. US Department of Agriculture, Forest Service. Agriculture Handbook N°553.
- Primack, R., R. Rozzi, P. Feinsinger, R. Dirzo Y F. Massardo. 2001. Fundamentos de conservación biológica. Fondo de Cultura Económica México. México D.F.
- Lindenmayer, D. B., J. F. Franklin & J. Fischer. 2006. General management principles and a checklist of strategies to guide forest biodiversity conservation. *Biological Conservation* 13(1):433-445.
- Lindenmeyer, D.B. & J.F. Franklin. 2002. *Conserving forest biodiversity*. Island Press, Washington DC, E.U.A.

- Jardel, E.J., R. Cuevas, A.L. Santiago & J.M. Rodríguez. 2014. Ecología y manejo de los bosques mesófilos de montaña. En: Gual, M. y A. Rendón-Correa (Eds.) El bosque mesófilo de montaña en México. Conabio. México D.F. 141-188.
- Hoover, R. L. & D.L. Wills, 1984. Managing Forested Lands for Wildlife Colorado División of Wildlife. Colorado Division of Wildlife in cooperation with USDA Forest Service, Rocky Mountain Region. Denver Colorado.
- Hunter, M. L. & Gibbs, J. P. 2009. Fundamentals of conservation biology. Blackwell, Malden, Maine, EUA.
- Harris, L.D. 1984. The fragmented forest. Chicago University Press, Chicago, EUA.
- Franklin, J. F., D. R. Berg., D. A. Thornburgh & J. C. Tappeiner. 1997. Alternative silvicultural approaches to timber harvesting: variable retention harvest systems. Pp. 111-139. En: K. A.
- Lewis, S.L., Lopez-Gonzalez, G., Sonke, B., Affum-Baffoe, K., Baker, T.R., Ojo, L.O., Phillips, O.L., Reitsma, J.M., White, L., Comiskey, J.A., Djuikouo K, M-N., Ewango, C.E.N., Feldpausch, T.R., Hamilton, A.L., Gloor, M., Hart, T., Hladik, A., Lloyd, J., Lovett, J.C., Makana, J.R., Malhi, Y., Mbago, F.M., Ndangalasi, H.J., Peacock, J., Peh, K.S.H., Sheil, D., Sunderland, T.C.H., Swaine, M.D., Taplin, J., Taylor, D., Thomas, S.C., Votere, R., Woll, H. 2009. Increasing carbon storage in intact African tropical forests. Nature 457 (7232) :1003-1007. ISSN: 0028-0836.