

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA  
DEPARTAMENTO FORESTAL



Crecimiento E Incremento De *Pinus greggii* var. *greggii* En Dos Plantaciones Forestales Comerciales En La Subcuenca De Santiaguillo, Durango

Por:

**ADRIANA GUTIERREZ ANGELES**

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO FORESTAL**

Saltillo, Coahuila, México

Enero, 2022

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA  
DEPARTAMENTO FORESTAL

Crecimiento E Incremento De *Pinus greggii* var. *greggii* En Dos Plantaciones Forestales Comerciales En La Subcuenca De Santiaguillo, Durango

Por:

**ADRIANA GUTIERREZ ANGELES**

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO FORESTAL**

Aprobada por el Comité de Asesoría:

Dr. Genaro Esteban García Mosqueda  
Asesor Principal Interno

Ing. Jesús José Salas Quiñones  
Asesor Principal Externo

Dr. Celestino Flores López  
Coasesor

M.C. Salvador Valencia Manzo  
Coasesor

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

Saltillo, Coahuila, México

Enero, 2022

## Declaración de no plagio

El autor es el responsable directo, jura bajo protesta de decir la verdad que no se incurrió en plagio o conducta académica incorrecta en los siguientes aspectos:

Reproducción de fragmentos o textos sin citar la fuente o autor original (corta y pega); reproducir un texto propio publicado anteriormente sin hacer referencia al documento original (auto plagio); comprar, robar o pedir prestados los datos de la tesis para presentarla como propia; omitir referencias bibliográficas o citar textualmente sin usar comillas; utilizar ideas o razonamientos de un autor sin citarlo; utilizar material digital como imágenes, videos, ilustraciones, gráficas, mapas o datos sin citar al autor original y/o fuente, así mismo tengo conocimiento de que cualquier uso distinto de estos materiales como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por las autoridades correspondientes. Por lo anterior me responsabilizo de las consecuencias de cualquier tipo de plagio en caso de existir y declaro que este trabajo es original.

Pasante



---

Adriana Gutiérrez Angeles

## DEDICATORIA

A mi madre **Dulce María Angeles Lugo**, por darme la vida y demostrarme que todo en esta vida tiene solución, es dedicada para ti por ser la mujer más fuerte, trabajadora y valiente que conozco, que nunca te has rendido por sacar adelante a mis hermanos y a mí, te agradezco por educarme, amarme y regañarme para ser la persona que hoy en día ven en mí.

A mi padre **Luis Adrian Gutierrez Hernández**, por darme la vida y enseñarme que sin tener un título puedes ser el más inteligente, innovador y productor. Papá, tú has provocado en mí ser una mujer sobresaliente, fuerte, con carácter y capaz de hacer cualquier cosa e incluso las que hacen los hombres, agradezco por luchar en bien de tu familia y querernos a tu manera.

A mis hermanos: **Arisbet**, mi hermana mayor, que me cuidaste en toda mi infancia y que ahora me apoyas incondicionalmente a seguir triunfando, así como en todas mis locuras, escucharme y aconsejarme; a **Guadalupe**, por dejarme enseñarte un camino distinto al que tenías pensado, gracias por regañarme en esta última etapa y siempre estar para mí, además de ser mi cómplice, a **Luis Adrian**, por permitirme aconsejarte y brindarme tu confianza, eres un gran muchacho, fuerte, valiente y noble, confío en que serás un buen hombre y a **Serafín**, a ti te agradezco estar todo el día conmigo, dejarme cuidarte y regañarte para que seas un gran niño, hijo y hermano, aún eres pequeño pero sabes cosas y cada día aprendes de la vida. Hermanos los amo por todos los buenos y malos momentos que como familia hemos vivido, por estar de una u otra manera.

**¡Los amo!**

## **AGRADECIMIENTOS**

A la vida por permitirme estar aquí, encontrarme sana y con la fortaleza con la que cada día me levanto para seguir adelante y triunfar.

A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro por forjar mi persona profesional, convertirme en una mujer con mejores ideas y razonamiento, además de mostrarme otro lado de la vida.

Al Dr. Genaro Esteban García Mosqueda, por todo el tiempo, asesoría y consejos para el desarrollo de este proyecto, además de ser el asesor de tesis, siempre mostró empatía y total respeto a mi persona, le agradezco todos los ánimos que siempre me dio.

Al Dr. Celestino Flores López, gracias por la asesoría y disponibilidad de tiempo para revisiones, ajustes y correcciones del trabajo, es gratificante trabajar con usted por ser un gran ejemplo de profesionista y persona, su gran energía y vibra contagia.

Al M.C. Salvador Valencia Manzo, por la revisión y corrección del trabajo, también por su amistad y la gran sonrisa que muestra al saludarlo, además de ser un excelente maestro y siempre estar disponible para sus alumnos.

Al Ing. Jesús José Salas Quiñones, por permitirme realizar este proyecto con las plantaciones bajo su cargo, además de la amistad y consejos para mi vida profesional, es un placer trabajar con usted por demostrar que se puede diversificar las aptitudes.

Al Ing. José Jil Cabrera Hernández, por participar en el muestreo y obtención de muestras del presente trabajo, también por la amistad que me ha brindado.

A todos los docentes de la carrera Ingeniero Forestal por formar profesionistas de calidad, por la amistad que llegamos a formar, los consejos que en su momento dado me han brindado y la incondicional asesoría.

A la familia Gutierrez, por todos los consejos, regañones y el cariño que debe existir en una familia, ustedes son el gran motor de mi vida, los problemas y dificultades que hemos encontrado se han resuelto con la fortaleza y unión que existe en casa.

A mis mejores amigos: José Francisco Argueta, Juan Carlos Rincón, Gregorio Tirzo, Fernando Vázquez, Álvaro Ambrosio, Tonatiuh Hernández, Luis Jonathan Valenzuela, Valeria Estefanía Mendoza, Sandra Lizbeth Flores, Estefanía Sampayo y Dulce Vanessa Nájera, por brindarme su incondicional e intacta amistad, consejos y confianza, les agradezco por escucharme siempre.

A María de Lourdes Gómez Ruiz, por compartir esta emoción tan grande y triunfar en un entorno lleno de varones. Eres una gran mujer, con un carácter digno de admirar.

A mis compañeros y amigos: Filiberto, Silverio, Eric Berteli, José Rubén, Catarino, Hanniel Seraias, Hugo Caralampio, Jacobo, José Gil, Víctor Manuel, Roberto Carlos, María Trinidad, Marco Antonio, Nilda Patricia, Jimmy Candelario, Martín Isidro, José Richard, Hugo Armando, Abigail, Manuel Alejandro, Pablo Antonio, Maximiliano, Ariadna Esbeidy, Ing. Jorge Daniel, Ing. Alejandro Churape, Ing. Jonatan, Ing. Leonel R., Ing. Pedro, Ing. María Del Carmen, Lic. Indra Josemin y a todos los demás que han estado en mi vida sumando buena vibra y muy gratos momentos.

A la familia Rivera Rodríguez por el cariño y hospitalidad que recibí en mi estancia en el estado de Durango, son una hermosa familia.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

	<b>Página</b>
ÍNDICE DE CUADROS .....	iii
ÍNDICE DE FIGURAS .....	iv
RESUMEN .....	v
ABSTRACT .....	vi
1. Introducción.....	1
1.1. Objetivos .....	4
1.2. Hipótesis.....	4
2. REVISION DE LITERATURA.....	5
2.1. Distribución e importancia de Pinus greggii .....	5
2.2. Crecimiento de los árboles forestales .....	6
2.3. Anillos de crecimiento de las coníferas .....	6
2.3.1. Crecimiento e incremento en altura .....	7
2.3.2. Crecimiento e incremento en diámetro.....	7
2.3.3. Crecimiento e incremento en área basal .....	8
2.3.4. Crecimiento e incremento en volumen .....	8
2.4. Análisis troncales .....	9
2.4.1. Curvas de crecimiento e incremento .....	9
2.4.2. Modelos de crecimiento.....	9
2.5. Cuencas hidrográficas.....	10
2.6. Plantaciones forestales comerciales y especies introducidas .....	10
3. MATERIALES Y MÉTODOS .....	12
3.1. Descripción del área de estudio .....	12
3.2. Diseño de muestreo .....	16
3.3. Trabajo de campo .....	16
3.4. Análisis troncales .....	17
3.4.1. Acondicionamiento de rodajas en el laboratorio.....	17
3.4.2. Crecimiento e incremento en altura, diámetro, área basal y volumen .....	17
3.5. Modelos de crecimiento en altura, diámetro, área basal y volumen.....	20
3.6. Criterios para selección y prueba de modelos con mejor ajuste .....	21

3.7. Comparación de incremento medio anual entre plantaciones.....	22
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	23
4.1. Crecimiento e incremento en altura de dos plantaciones forestales comerciales.....	23
4.2. Crecimiento e incremento en diámetro a 0.10 m.....	27
4.3. Crecimiento e incremento en área basal a 0.10 m.....	31
4.4. Crecimiento e incremento en volumen.....	35
4.5. Comparación de IMA en altura, diámetro, área basal y volumen entre plantación A y plantación B.....	40
5. CONCLUSIONES.....	42
6. RECOMENDACIONES.....	43
7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	44



## ÍNDICE DE CUADROS

	Página
Cuadro 1. Modelos para ajustar las curvas de crecimiento e incremento de <i>Pinus greggii</i> Engelm. var <i>greggii</i> , en la subcuenca de Santiaguillo, Durango.....	21
Cuadro 2. Modelos ajustados en relación edad-altura para <i>Pinus greggii</i> Engelm. var. <i>greggii</i> en dos plantaciones de la subcuenca de Santiaguillo, Durango.....	24
Cuadro 3. Modelos con mejor ajuste en relación edad-diámetro, para <i>Pinus greggii</i> Engelm. var. <i>greggii</i> en dos plantaciones de la subcuenca de Santiaguillo, Durango.....	28
Cuadro 4. Modelos con mejor ajuste en relación edad-área basal, para <i>Pinus greggii</i> Engelm. Var. <i>greggii</i> en dos plantaciones de la subcuenca de Santiaguillo, Durango.....	32
Cuadro 5. Modelos con mejor ajuste en relación edad-volumen, para <i>Pinus greggii</i> Engelm. var. <i>greggii</i> en dos plantaciones de la subcuenca de Santiaguillo, Durango.....	36
Cuadro 6. Comparación de IMA en las variables altura, diámetro, área basal y volumen en dos plantaciones dentro de la subcuenca de Santiaguillo, Durango.....	40

## ÍNDICE DE FIGURAS

### Página

Figura 1. Ubicación del área de muestreo del estudio Epidométrico de dos plantaciones forestales comerciales de <i>Pinus greggii</i> Engelm. var. <i>greggii</i> en subcuenca Santiaguillo, Durango.....	14
Figura 2. Tipo de suelo presente en dos plantaciones forestales comerciales de <i>Pinus greggii</i> Engelm. var. <i>greggii</i> en subcuenca Santiaguillo, Durango.....	15
Figura 3. Curva de crecimiento con el modelo Gompertz para cada plantación (a) y curvas de incrementos de ambas plantaciones (b) para la relación edad-altura para <i>Pinus greggii</i> Engelm. var. <i>greggii</i> en plantaciones (subcuenca de Santiaguillo), Durango, México. ....	26
Figura 4. Curvas de crecimiento con el modelo Gompertz para cada plantación (a) y curvas de incremento medio anual (IMA) de ambas plantaciones para la relación edad-diámetro (b) en dos plantaciones de la especie <i>Pinus greggii</i> Engelm. var. <i>greggii</i> dentro de la subcuenca de Santiaguillo, Durango. ....	30
Figura 5. Curvas de crecimiento con modelo Logístico para cada plantación (a) y curvas de incremento medio anual (IMA) de ambas plantaciones para la relación edad-área basal (b) en dos plantaciones de la especie <i>Pinus greggii</i> Engelm. var. <i>greggii</i> dentro de la subcuenca de Santiaguillo, Durango.....	34
Figura 6. Curvas de crecimiento con el modelo Logístico para cada plantación (a) y curvas de incremento medio anual (IMA) de ambas plantaciones (b) para la relación edad-volumen en dos plantaciones de la especie <i>Pinus greggii</i> Engelm. var. <i>greggii</i> dentro de la subcuenca de Santiaguillo, Durango.....	38

## RESUMEN

*Pinus greggii* Engelm. var. *greggii* es una especie nativa en la porción norte de la Sierra Madre Oriental, de rápido crecimiento, precoz en su floración, capaz de adaptarse a suelos degradados y pedregosos, así como a zonas semi áridas. Por lo cual, se considera una especie con potencial para plantaciones forestales comerciales dentro y fuera de su área de distribución. El objetivo del estudio fue comparar el crecimiento e incremento en altura, diámetro, área basal y volumen de dos plantaciones forestales comerciales, a través de análisis troncales; además se realizó una comparación del incremento medio anual en las variables antes mencionadas. El estudio se desarrolló en plantaciones forestales comerciales dentro de la subcuenca de Santiaguillo, Durango. En las plantaciones de estudio se realizó un muestreo selectivo, se probaron cinco modelos de crecimiento, para comparar el crecimiento e incremento en altura, diámetro, área basal y volumen entre las plantaciones. La selección del mejor modelo se realizó bajo los criterios de los estadísticos cuadrado medio del error (CME), raíz del CME y Coeficiente de determinación ajustada ( $R_{aj}^2$ ). Se utilizó el procedimiento de regresión no lineal Proc Model con opción FIML (método de máxima verosimilitud) del paquete estadístico SAS. Los modelos que mejor explicaron el crecimiento e incremento de *Pinus greggii* var. *greggii* en las dos plantaciones evaluadas fueron Gompertz (altura y diámetro) y Logístico (área basal y volumen). Se aplicó una prueba t Student de medias para la comparación entre las dos plantaciones, resultando que no existen diferencias significativas entre las plantaciones evaluadas.

Palabras clave: altura, diámetro, área basal, volumen, modelos de crecimiento, Incremento medio anual, *Pinus greggii* Engelm. var. *greggii*, plantaciones forestales comerciales.

## ABSTRACT

*Pinus greggii* Engelm. var. *greggii* is a native species in the northern portion of the Sierra Madre Oriental, fast growing, early in its flowering, capable of adapting to degraded and stony soils, as well as in semi-arid zones. Therefore, it is considered a species with potential for commercial forest plantations within and outside its range. The objective of the study was to compare the growth and increase in height, diameter, basal area and volume of two commercial forest plantations, through trunk analysis, in addition, a comparison of the average annual increase in the aforementioned variables was made. The study was developed in commercial forest plantations within the Santiaguillo sub-basin, Durango. In the study plantations a selective sampling was carried out, five growth models were tested, to compare the growth and increase in height, diameter, basal area and volume between the plantations. The selection of the best model was carried out under the statistics criteria: mean square error (CME), root of the CME and adjusted determination coefficient ( $R_{aj}^2$ ). The non-linear regression procedure Proc Model with the FIML option (maximum versatility method) of the SAS statistical package was used. The models that best explained the growth and increase of *Pinus greggii* var. *greggii* in the two evaluated plantations were Gompertz (height and diameter) and Logístico (basal and volume). A t Student test of means was applied for the comparison between the two plantations, resulting in that there are no significant differences between the evaluated plantations.

keywords: Height, Diameter, Basal area, Volume, growth patterns, Average annual increase, *Pinus greggii* Engelm. var. *greggi*, comercial forest plantations.

## 1. INTRODUCCIÓN

México, es un país megadiverso que posee recursos naturales más valiosos, entre ellos los bosques; encargados de múltiples beneficios y servicios que brindan a la sociedad como son productos y materias primas forestales, protección de suelos y cuencas, además de la regulación del ciclo hidrológico, captura de carbono y servicios ambientales, entre otros más (Arteaga, 2003).

Los bosques y los árboles constituyen fuentes vitales de ingresos, medios de subsistencia y bienestar para las poblaciones rurales, así mismo proporcionan actividades generadoras de ingresos directos en el sector formal e informal y conforman importantes componentes de los medios de vida para gran parte de la población mundial; sin embargo, se está acabando el tiempo para los bosques del mundo, cuya superficie total disminuye cada día (FAO, 2018).

En los últimos años los bosques han sufrido una disminución en superficie y el cambio de uso de suelos de estos mismos. Una alternativa que ha surgido desde este problema ha sido el establecimiento de plantaciones forestales comerciales y con ellas frenar el deterioro de los suelos y ecosistemas forestales (Arteaga, 2003).

La FAO (2018) argumenta que, deteniendo la deforestación, gestionando los bosques de manera sostenible, restaurando los bosques degradados y aumentando la superficie forestal mundial es posible evitar consecuencias potencialmente perjudiciales para el planeta y sus habitantes.

El uso de incentivos para el desarrollo de actividades de protección, restauración y conservación del ambiente ha sido una práctica común en el país y ha tomado importancia en los últimos años como un reconocimiento de la mitigación de los efectos de cambio climático por la cobertura vegetal y que además este mismo reconocimiento se ha materializado en el desarrollo de estrategias para la reducción de emisiones derivadas de deforestación y degradación, conocidas como (REDD+) en

el desarrollo de iniciativas voluntarias para promover la conservación, protección o restauración de bosques y selvas (CONAFOR, 2013).

El establecimiento de plantaciones forestales comerciales en el país ha permitido reducir importaciones de productos forestales a México, para favorecer esto, la CONAFOR a través del Programa Nacional Forestal (PRONAFOR) ha otorgado apoyos para impulsar los costos de establecimiento, mantenimiento y manejo de plantaciones forestales comerciales (Álvarez, 2018).

En el estado de Durango se ha reportado una superficie de 6768 ha de plantaciones forestales comerciales, verificada y pagada en los años de 2007 a 2019, con el objetivo de reconvertir áreas poco productivas (SEMARNAT, 2020). En particular se ha trabajado con *Pinus greggii* Engelm var. *greggii*, especie que tiene tasas de crecimiento aceptables en altura y diámetro, así como la adaptabilidad a condiciones de poca humedad (entre 400 y 600 mm anuales), (Vázquez *et al.*, 2018).

*Pinus greggii* var. *greggii*. es una especie nativa en la porción norte de la Sierra Madre Oriental, es de rápido crecimiento, precoz en su floración (Gutierrez, *et al.*, 2010), la adaptación, rápido crecimiento y tolerancia a la sequía, en áreas con baja calidad de sitio, le ha permitido ser seleccionada para forestar y reforestar, ser utilizada con fines de protección o recuperación de áreas degradadas (Álvarez, 2018).

El uso de modelos matemáticos para el manejo adecuado de los bosques naturales y plantaciones comerciales se ha convertido cada vez más relevante para el aprovechamiento ambientalmente responsable de los recursos, socialmente benéfico y económicamente viable (Diéguez *et al.*, 2014).

Dentro de la planeación y manejo forestal se determina el turno para definir el rendimiento, así como proyectar la producción en el periodo de aprovechamiento

del bosque (Hernández *et al.*, 2016). El turno permite ver la intersección del incremento corriente anual (ICA) y el incremento medio anual (IMA) y este punto señala la disminución o el aumento del crecimiento de las especies y el tiempo en el cual se tendrá que aplicar un tratamiento silvícola o labores complementarias (Serrada, 2011).

El manejo de los bosques va de la mano con el manejo integral del ecosistema, se habla del manejo de cuencas hidrográficas en las que se integran sistemas biofísicos, socioeconómicos y político-administrativos. Estas cuencas son consideradas un medio para diseñar e instrumentar políticas orientadas al desarrollo rural, y al manejo integral y sostenible de los ecosistemas (Sepúlveda, 2002).

El objetivo del estudio fue evaluar el crecimiento de la especie *Pinus greggii* var. *greggii* en dos plantaciones forestales comerciales dentro de la subcuenca de Santiaguillo, Durango.

## 1.1. Objetivos

Objetivo general:

Caracterizar, describir y comparar el crecimiento e incremento en altura, diámetro, área basal y volumen a partir de información generada de análisis troncales de *Pinus greggii* var. *greggii* en dos plantaciones forestales comerciales, localizadas en la subcuenca de Santiaguillo, Durango.

Objetivos específicos:

- Determinar el incremento medio anual (IMA) de árboles estudiados.
- Probar cinco modelos estadísticos no lineales de crecimiento y determinar el de mejor ajuste.
- Realizar comparación entre curvas de crecimiento de ambas plantaciones, mediante el modelo seleccionado.
- Realizar comparación de medias entre plantaciones para el IMA de las variables estudiadas.

## 1.2. Hipótesis

Ho: No existe diferencia significativa en el IMA en área basal, altura, diámetro normal y volumen entre dos plantaciones a los siete años de edad.

Ha: Existe diferencia significativa en el IMA en área basal, altura, diámetro normal y volumen entre dos plantaciones a los siete años de edad



## 2. REVISION DE LITERATURA

### 2.1. Distribución e importancia de *Pinus greggii*

*Pinus greggii* es una especie endémica de México, se encuentra distribuida de forma natural en la Sierra Madre Oriental, existen poblaciones en la porción norte en los estados de Coahuila y Nuevo León en altitudes de 2300 a 2700 msnm, con precipitación anual total de 300 a 700 mm y una temperatura media anual de 14°C. En la porción sur de la Sierra Madre Oriental, en los estados de Hidalgo, Puebla, Querétaro, San Luis Potosí y Veracruz, se encuentran en altitudes de 1300 – 2600 msnm, con precipitación total anual entre 700 y 2000 mm y una temperatura media anual de 17°C. (Aldrete *et al.*, 2005). En la región norte se encuentra en suelos con un pH ligeramente alcalino, mientras que la región sur se encuentra en suelos más ácidos. Debido a las diferencias entre las regiones, se han definido las variedades, *Pinus greggii* var. *greggii* para las poblaciones del norte y *Pinus greggii* var. *australis* para las poblaciones del sur (Donahue y López, 1999).

Esta especie ha tomado gran importancia en trabajos de restauración y protección debido a su rápido crecimiento y buena adaptación a suelos pobres, siendo así utilizada en programas de restauración de suelos degradados en el Valle de México; debido a la gran adaptación en suelos, también es usada para realizar plantaciones comerciales forestales (CONAFOR, SF).

*Pinus greggii* ha demostrado poseer altas tasas de crecimiento en altura y diámetro en ensayos genéticos o de especies (Azamar *et al.*, 2000), La especie se utiliza para la producción de madera aserrada para diversos usos, postes, durmientes, lambrín, pilotes, vigas y leña (CONAFOR, SF)

## **2.2. Crecimiento de los árboles forestales**

El crecimiento de un árbol o un rodal es el cambio irreversible en dimensiones durante periodos definidos de tiempo (Vanclay, 1995). Las características genéticas y su interrelación con el ambiente influyen en el crecimiento de los árboles (De la Cruz, 2010).

La conformación general de la copa de cada árbol depende de la especie, edad, composición, calidad, densidad y variedad de la localidad en donde está creciendo, aunque se presenta con mejor forma en árboles que están creciendo en localidades abiertas donde la copa no ha sido modificada por la competencia o daño (González, 2000).

## **2.3. Anillos de crecimiento de las coníferas**

Los anillos de crecimiento de los árboles son definidos como un conjunto de células de xilema producidas por el cambium vascular en el que se presentan periodos de crecimiento, inducidos generalmente por la alteración estacional favorable y desfavorable de las condiciones de crecimiento (Brienen y Zuidema, 2003). Fisiológicamente, el ancho de un anillo de crecimiento está en función de la masa foliar de la copa, de los productos que se hayan de la fotosíntesis y de la actividad de los reguladores de crecimiento, pero serán los factores ambientales como la intensidad de luz, la temperatura y la defoliación por insectos o granizo los que determinan la intensidad de crecimiento (Gómez *et al.*, 2014).

Los árboles producen un anillo de crecimiento por año, el cual forma un círculo completo, en algunas ocasiones se pueden producir varios anillos por año, a este tipo de anillos se les conoce como falsos anillos. Esta aparición de este tipo de anillos puede ocurrir por diferentes causas como el que la planta presente un segundo periodo de floración, crecimiento discontinuo durante el verano y el anillo de crecimiento se active durante un otoño templado (Klepac, 1976).

### **2.3.1. Crecimiento e incremento en altura**

El crecimiento en altura es producido a medida que las yemas apicales se expanden y crecen en el extremo del meristemo terminal de cada primavera. Los diversos meristemos apicales y laterales contenidos dentro de la copa crecen y se expanden aumentando la masa total de la copa del árbol (González, 2000).

El crecimiento e incremento en altura es determinado por la cantidad de nutrientes que acumula el árbol durante el año, normalmente se manifiesta en primavera con gran intensidad, con una duración de dos a tres semanas, después el aumento decrece gradualmente, en algunas especies se interrumpe y en otras no se presenta alguna interrupción hasta el mes de septiembre u octubre. Esta variación probablemente se deba al fotoperiodo. El incremento en altura depende de factores como: genotipo, calidad de estación y ambiente; aunque el factor individual, genotipo es muy importante, puesto que bajo las mismas condiciones algunos árboles exhiben un incremento hasta dos o tres veces mayor que otros y entre los factores externos, la calidad del suelo influye en el crecimiento en altura (Klepac, 1976).

### **2.3.2. Crecimiento e incremento en diámetro**

El crecimiento en diámetro es referido al aumento del diámetro de un árbol en un determinado tiempo, también se le conoce como crecimiento secundario. Por lo general un árbol crece en altura y después en diámetro. Este crecimiento es influenciado por la distribución que éste tenga y por los factores que están directamente relacionados con el crecimiento en altura (Imaña y Encinas, 2008). Brienen y Zuidema (2003) señalan que el crecimiento en diámetro no es igual a lo largo del árbol y para evaluarlo se emplea generalmente la variable DAP al inicio y final del periodo requerido.

El incremento anual en diámetro depende de la cantidad de reservas acumuladas por el árbol durante el año, pero depende aún más del ambiente que del crecimiento e incremento en altura y se manifiesta en los anillos de crecimiento, que bajo condiciones normales su crecimiento es pequeño al principio, después aumenta hasta llegar a una fase de alta actividad y disminuye gradualmente hasta llegar a ser muy reducidos en árboles viejos (Klepac, 1976).

### **2.3.3. Crecimiento e incremento en área basal**

El crecimiento en área basal es una medida de la capacidad de los árboles o rodales para producir elementos de xilema y producción, la cual está influenciada por: factores genéticos, bióticos, físicos y químicos del ambiente. Mientras existe la interacción de estos factores, el área basal se acumula y alcanza su máximo crecimiento, bajo condiciones de población completa. Al realizar tratamientos silvícolas pueden reducir y redistribuir el área basal en rodales de edad uniforme. El área basal es una de las características más importantes para describir un rodal ya que, presenta una de las tasas de crecimiento más notables que se reconocen en la silvicultura (De la Cruz, 2010)

### **2.3.4. Crecimiento e incremento en volumen**

El crecimiento en volumen es el resultado de los crecimientos del diámetro y de la altura y que depende de la forma del tronco, se refiere al aumento del volumen de un determinado periodo de tiempo. El crecimiento está influenciado por los mismos factores para el crecimiento de altura y principalmente por la densidad del bosque (Imaña y Encinas, 2008).

El incremento en volumen del árbol engloba la parte leñosa, el follaje, frutos y sistema radicular del árbol. El volumen de un árbol aumenta paralelamente con la altura y el diámetro desde su nacimiento hasta su muerte. Bajo condiciones

diferentes el incremento en volumen siempre culmina después del incremento en altura, diámetro y área basal (Klepac, 1976).

## **2.4. Análisis troncales**

El análisis troncal estudia el desarrollo e incremento de un árbol de manera directa y precisa, determina el crecimiento e investiga las diferentes relaciones que lo controlan. El procedimiento para realizar este análisis consiste en la medición por secciones de las dimensiones del árbol a diferentes edades y diámetros permitiendo el conteo y mediciones de anillos y con ello se calculan los distintos elementos, como el crecimiento e incremento en altura, diámetro, área basal y volumen (Klepac, 1976).

### **2.4.1. Curvas de crecimiento e incremento**

Las curvas de crecimiento e incremento se encuentran a la altura alcanzada en un punto determinado del tiempo en función de la edad, donde se la curva de desarrollo en altura o la curva de rendimiento, esta curva tiene forma típica para todos los elementos de árbol y rodal asemejando una "S" extendida o el símbolo de la integral. Las curvas que resultan de varios parámetros del árbol o rodal son sorprendentemente similares, presentando toda una forma sigmoideal, empezando todas en el origen. El crecimiento del árbol puede conocerse a partir de estas curvas y sus derivadas (Prodan *et al.*, 1997).

### **2.4.2. Modelos de crecimiento**

Los modelos de crecimiento están basados en funciones que permiten predecir incrementos; diámetro promedio, área basal y volumen, en intervalos cortos de tiempo, en función de la densidad del rodal que se tiene expresada en área basal y/o edad (Imaña y Encinas, 2008).

Los modelos de crecimiento permiten predecir la productividad futura y explorar opciones de manejo y alternativas silvícolas, también ofrecen nuevos puntos de vista en la dinámica del rodal (Vanclay, 1995).

## **2.5. Cuencas hidrográficas**

El concepto de cuenca y sus derivados: subcuenca y microcuenca ha sido muy útil para gestionar el recurso hídrico, debido a que es un área natural en la que el agua proveniente de la precipitación forma un curso principal de agua (Rodríguez, 2006).

México está constituido por 13 regiones hidrológico-administrativas en las que se encuentran 37 cuencas hidrográficas y éstas a su vez se dividen en subcuencas y microcuencas. Cuando una cuenca hidrográfica no está protegida o no se maneja adecuadamente, se provocan inundaciones tierras abajo y los daños y costos económicos son elevados (SEMARNAT, 2003).

## **2.6. Plantaciones forestales comerciales y especies introducidas**

Las plantaciones forestales se convierten en los proveedores de madera y responsables del mantenimiento y restauración del ambiente, además desempeñan un papel importante en las cuencas hidrográficas, sobre todo, reduciendo los azolves a obras hidráulicas, lagos, lagunas y tierras corriente abajo (Musálem, 2006).

Una especie exótica o introducida se refiere a una especie que crece fuera de su límite natural de ocurrencia. El empleo de especies exóticas en plantaciones forestales se debe a que, por un lado, en el mundo existe una diversidad de especies y, por el otro, existen áreas que presentan similitud extraordinaria en cuanto a condiciones de clima y suelo. De esta manera la especie introducida puede prosperar en una región con condiciones similares, más la ventaja que representa

el hecho de que en ese lugar no existen las plagas y enfermedades que la acosan en su hábitat natural (Benítez, 2010).

En Sudáfrica se han establecido plantaciones con *Pinus greggii* en localidades con niveles relativamente bajos de precipitación pluvial. Además, *Pinus greggii* ha demostrado tener mayor capacidad de sobrevivencia y crecimiento que otras especies del mismo género en condiciones de escasa humedad por lo que es una especie de gran potencial para ser empleada en programas extensivos de plantaciones forestales con fines de protección de cuencas (Vargas, 1985).

En el estado de Durango, en los últimos 10 años se han establecido 4 963 ha de plantaciones comerciales, esto con el objetivo de reconvertir áreas poco productivas, para lo cual se ha utilizado la especie *Pinus greggii* var. *greggii*, debido al reporte de tasas de crecimiento aceptables en altura, diámetro y la adaptabilidad a condiciones de poca humedad (Vázquez *et al.*, 2018) y tiene importancia económica debido a la obtención de madera para la industria del aserrío, postes, cercas y leña (Ramírez *et al.*, 2005).

La preparación del terreno es uno de los aspectos más importantes para el establecimiento, sobrevivencia y buen desarrollo, esta preparación es una de las operaciones más costosas, por lo que debe contemplar sólo lo necesario (Martinez,1999). Puede ser mecánica, ésta debe permanecer libre de tocones, desperdicios y piedras, que pudieran obstaculizar dicha labor. En lugares muy secos donde la humedad del suelo es limitada, se recomienda esta preparación mecanizada (Chapman y Allan, 1978).

### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. Descripción del área de estudio

El presente estudio se realizó en los municipios de Nuevo Ideal y de Santiago Papasquiaro, dentro de la subcuenca Laguna de Santiaguillo localizada en el centro del estado de Durango, México (INEGI, 2000). La altitud de la cuenca se oscila de los 1960 a 3200 msnm. Abarca una superficie de 2542.16 km<sup>2</sup>, demarcada por macizos montañosos que la circundan, dando lugar en su interior a un amplio valle de forma alargada en dirección sureste-noreste, en cuya parte baja se localiza la Laguna de Santiaguillo. La laguna es alimentada por los escurrimientos propios de la subcuenca durante la época de lluvias (SEMARNAT, 2012).

Los suelos dominantes que se encuentran en la subcuenca de Santiaguillo son feozem, leptosol y regosol. De los cuales en los que se encuentran las plantaciones forestales comerciales de este estudio son de tipo Feozem (Figura 2) (CONABIO, 2021).

La zona de estudio presenta clima semiseco templado, con lluvias en verano y escasas a lo largo del año (BS1Kw(w)), templado subhúmedo con lluvias en verano (C(w0) y C(w1)) y semifrío subhúmedo (C(E)(w1)) (García,1987). La temperatura media mensual es de 17° C, siendo los meses más calurosos de abril a septiembre y los más fríos de noviembre a marzo. La precipitación media anual en la subcuenca es de 426.5 mm, correspondiendo los meses con mayor cantidad de lluvia de junio a septiembre y los meses más secos de enero a mayo (SEMARNAT, 2012).



En Durango, se han establecido plantaciones forestales comerciales con la especie *Pinus greggii* var. *greggii* en áreas de transición y de baja productividad agrícola. A pesar de ser una especie introducida en el estado, desde la década de 1990, se han establecido ejemplares de árboles a partir de semilla de procedencias de la porción norte de la Sierra Madre Oriental por la buena adaptación, rápido crecimiento y tolerancia a la sequía, en áreas con baja calidad de sitio. Dichas plantaciones se han encontrado específicamente en cinco municipios: Nuevo Ideal, Canatlán, Santiago Papasquiari, Coneto de Confort y Durango (Álvarez, 2018).

En julio de 2010 se estableció una plantación forestal comercial (Plantación B) en el municipio de Nuevo Ideal en las coordenadas 105°5'55.75" O y 24°52'38.65" N (Figura 1) con la especie *Pinus greggii* Engelm. var. *greggii* en forma de marco real preparando el terreno con ayuda de Bulldozer e implementos agrícolas básicos para dicha plantación, el distanciamiento entre plantas fue de 2.50 m y 2.70 m entre filas, se tuvo una densidad de 1750 plantas por hectárea, en el 2013 se le realizó un tratamiento de poda altura de muñón (SIAFANI, 2014).

En agosto de 2014 se estableció una plantación forestal comercial (Plantación A) en la Ex hacienda "San Julián", municipio de Santiago Papasquiari en las coordenadas 105°14'12.93" O y 25°7'28.36" N (Figura 1) con la especie *Pinus greggii* var. *greggii*, implementando paquete tecnológico para su establecimiento, se utilizó una rastra Savannah, implemento especializado para este fin, propiedad de la Secretaría de Recursos Naturales y Medio Ambiente del Gobierno del estado, realizando el trabajo con un tractor agrícola internacional 4896, la profundidad mínima fue de 60 cm y máxima de 70 cm. La plantación tuvo una forma de marco real, un espaciamiento de 2.70 m entre plantas y 3.00 m entre filas y la densidad de la plantación inicial fue de 1250 árboles por hectárea, tuvo aplicación de fertilizante Multiocote de ocho meses de liberación, 8,12-25-12 (SIAFANI, 2014).

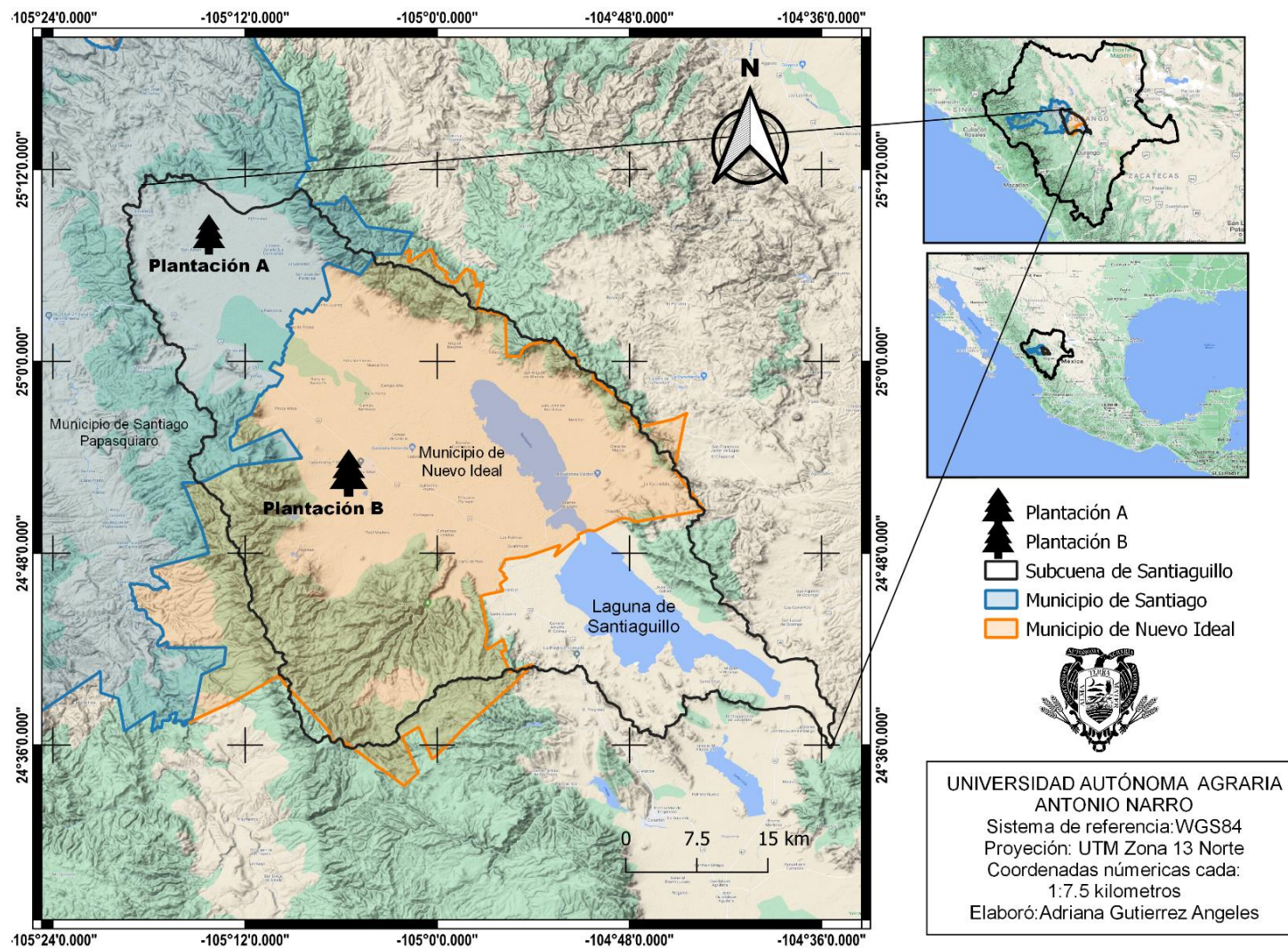


Figura 1. Ubicación del área de muestreo del estudio epidemológico de dos plantaciones forestales comerciales de *Pinus greggii* Engelm. var. *greggii* en subcuenca Santiaguillo, Durango.

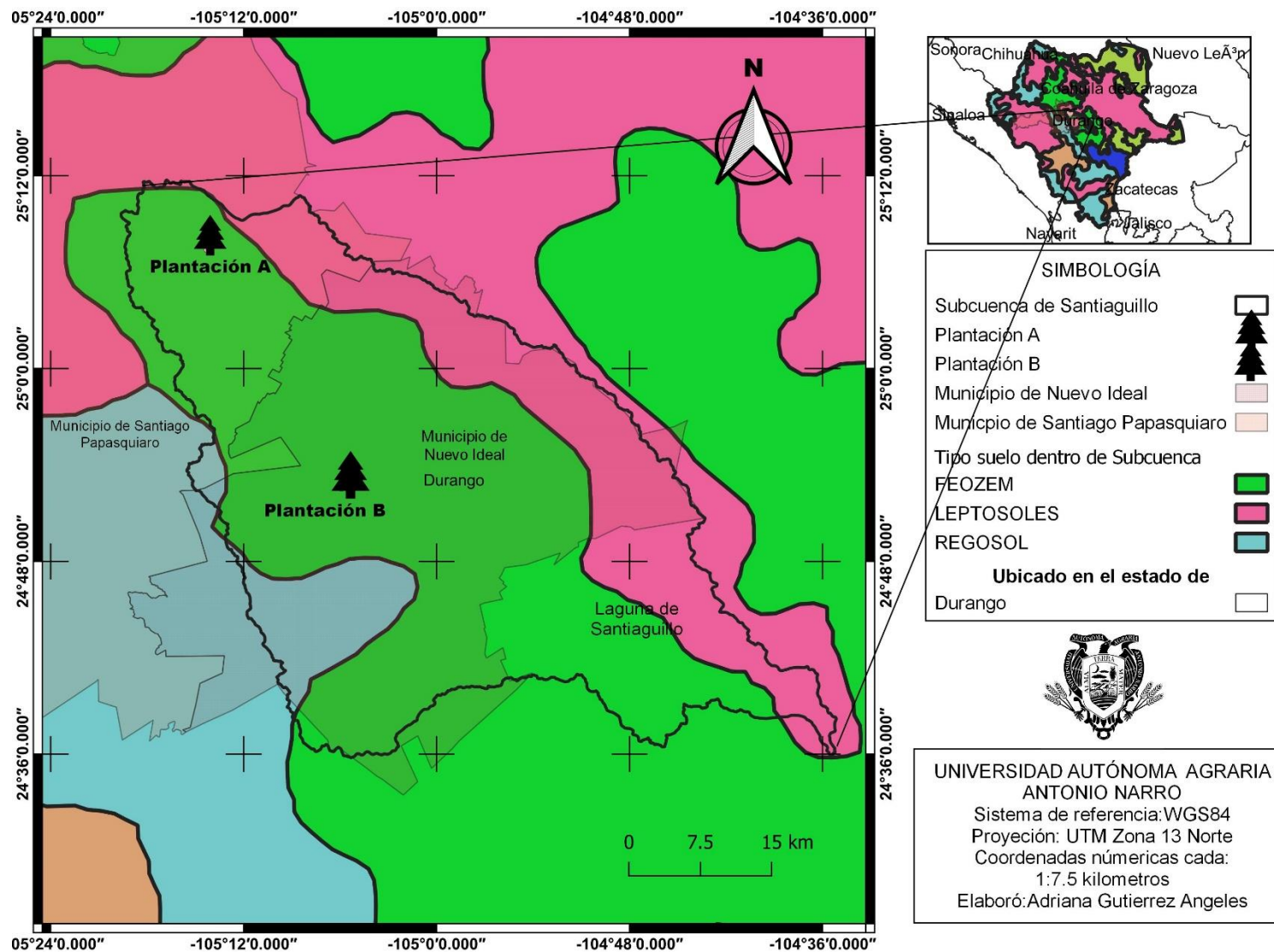


Figura 2. Tipo de suelo presente en dos plantaciones forestales comerciales de *Pinus greggii* Engelm. var. *greggii* en subcuena Santiaguillo, Durango

### **3.2. Diseño de muestreo**

Se aplicó un muestreo de tipo selectivo donde se evaluaron 11 árboles en cada plantación, la selección está en función a los siguientes criterios fenotípicos: árboles sanos, vigorosos, dominantes y co-dominantes, con buena formación de copa, libres de plagas y enfermedades, sin daño físico. La cantidad de árboles se limitó a lo que indicaron los propietarios de las plantaciones.

### **3.3. Trabajo de campo**

De los árboles seleccionados se registró el diámetro a la base, altura total, altura del fuste limpio, diámetro de copa, se cuantificó el número de verticilos por árbol georreferenciando la coordenada geográfica de cada individuo mediante un receptor de Sistema de Posicionamiento Global (GPS).

Al tener registrada la información anterior, con ayuda de una motosierra se hizo el derribo y troceo para la obtención de rodajas de 5 cm de espesor, a una altura de 0.10 m, 0.30 m, 1.30 m y posteriormente a cada 1.0 m, hasta donde el fuste del árbol comprende un diámetro igual o mayor a 3 cm, los cortes se hicieron lo más perpendicularmente posible al eje axial del árbol.

Las rodajas se ordenaron y marcaron de mayor a menor con la base al diámetro, anotando al reverso la clave del árbol (plantación, número de árbol y sección de corte), utilizando marcadores indelebles, posteriormente las muestras fueron guardadas en costales de polipropileno con su identificación correspondiente, para su traslado al laboratorio de Ingeniería Forestal de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

### **3.4. Análisis troncales**

#### **3.4.1. Acondicionamiento de rodajas en el laboratorio**

En el laboratorio, las rodajas se secaron durante tres meses a temperatura ambiente, para ponerlas en condición de lijado o pulido, para lo cual se necesitó una lijadora eléctrica y lijas de diferentes calibres (240 fina y 180 gruesa) para facilitar la mejor observación de los anillos de crecimiento.

Primero se utilizó la lija de acabado grueso con la finalidad de borrar las marcas de motosierra, posteriormente se usó la de acabado fino para que los anillos se observaran claramente y facilitar la visibilidad de los anillos y posteriormente su conteo. En casos específicos se realizaron cortes con navaja para facilitar la identificación de los anillos de crecimiento.

#### **3.4.2. Crecimiento e incremento en altura, diámetro, área basal y volumen**

Después de pulir se utilizó un calibrador vernier digital para la medición y conteo de anillos de crecimiento de cada rodaja obteniendo la edad y el diámetro correspondiente, cabe resaltar que fue seleccionado el diámetro a la altura de 0.10 metros de cada árbol para obtener el área basal y volumen.

Una vez medidas todas las rodajas se obtuvo la base de datos mediante un trazo de un eje por el centro de la médula, en cada rodaja se contó el número de anillos, descartando anillos falsos y perdidos para obtener la edad a la cual el árbol llega a la altura de la sección.

La edad a cada sección fue estimada con la siguiente ecuación:

$$\text{Edad a la altura de corte} = \text{edad total} - na$$

Dónde:

na= número de anillos en la sección a la altura de corte

Se usó el programa Excel, incluido en el paquete Microsoft Office para calcular las siguientes variables:

Área basal

$$AB = \frac{\pi}{4} d^2$$

Donde:

AB= Área basal de la sección en cm<sup>2</sup>

$\pi$ = constante

4= constante

d= diámetro en cm.

Para el cálculo del volumen se utilizaron las fórmulas correspondientes para cada sección del árbol (De la Vega, 2012). Cabe mencionar que se realizó la conversión de unidades (centímetros a decímetros) para obtener el volumen en decímetros cúbicos (dm<sup>3</sup>).

Para la obtención del volumen del tocón se utilizó la fórmula del neiloide truncado que se asemeja a la forma del tocón:

$$V = \frac{L}{4} [S_0 + S_1 + \sqrt[3]{S_0 S_1} (\sqrt[3]{S_0} + \sqrt[3]{S_1})]$$

Dónde:

V= volumen (dm<sup>3</sup>)

S<sub>0</sub>= área de la sección mayor (dm<sup>2</sup>)

S<sub>1</sub>= área de la sección menor (dm<sup>2</sup>)

L= longitud (dm)

A partir de los 30 cm de altura en adelante excluyendo la sección final del árbol, se empleó la fórmula del paraboloidoide truncado:

$$V = \left[ \frac{S_0 + S_1}{2} \right] L$$

Dónde:

V= volumen (dm<sup>3</sup>)

S<sub>0</sub>= área de la sección mayor (dm<sup>2</sup>)

S<sub>1</sub>= área de la sección menor (dm<sup>2</sup>)

L= longitud (dm)

Por último, para la sección final del árbol se usó la ecuación del neiloide:

$$V = \frac{S_0 h_0}{4}$$

Dónde:

V= volumen (dm<sup>3</sup>)

S<sub>0</sub>= área de la sección transversal de la base (dm<sup>2</sup>)

h<sub>0</sub>= altura (dm)

Una vez obtenida la información de las diferentes variables se procedió a realizar los diagramas de dispersión para realizar el diagnóstico correspondiente, esto con ayuda del programa Statistical Analysis System versión 9.0 (SAS) mediante el procedimiento de regresión no lineal PROC Model con la opción FIML (método de máxima verosimilitud) el cual minimiza el cuadrado medio del error (García *et al.*, 2017).

En los cálculos de incrementos, específicamente en este estudio se descartó el ICA (incremento corriente anual) debido a que, este es recomendado ser ejecutado usando periodos de 5-10 años y las plantaciones han sido evaluadas hasta los siete

años por tener árboles jóvenes. Por lo que solamente fue calculado el IMA (incremento medio anual) a partir de los datos previamente estimados de crecimiento en altura, diámetro, área basal y volumen, la cual se determinó con la siguiente fórmula:

$$\text{IMA} = \text{variable} / \text{edad}$$

Dónde:

IMA= incremento medio anual

Variable= altura, diámetro, área basal y volumen.

### **3.5. Modelos de crecimiento en altura, diámetro, área basal y volumen**

Con los datos obtenidos del análisis troncal de la especie en estudio, se procedió a la construcción de curvas de crecimiento, mediante modelos no lineales y de esta manera encontrar el modelo de mejor ajuste. Los modelos utilizados se presentan en el Cuadro 1.



Cuadro 1. Modelos para ajustar las curvas de crecimiento e incremento de *Pinus greggii* Engelm. var *greggii*, en la subcuenca de Santiaguillo, Durango.

	variable
Modelo	Ecuación
Schumacher's (M1)	$Y = e^{a+b/X}$
Weibull (M2)	$Y = 1 - e^{-aX^b}$
Chapman-Richard's (M3)	$Y = a[1 - e^{-bX}]^c$
Logístico (M4)	$Y = \frac{a}{1+e^{b-cX}}$
Gompertz (M5)	$Y = ae^{-e^{b-cX}}$

Fuente: Sit, V. y M. Poulin-Costello (1994).

Dónde: Y= variable de estudio; a, b, c=parámetros de regresión; e= base de logaritmos naturales; X=edad.

### 3.6. Criterios para selección y prueba de modelos con mejor ajuste

La selección y prueba de los modelos de ajuste se hizo para 22 árboles, utilizando la metodología propuesta por Sit y Poulin (1994). Fueron evaluados graficando los pares de valores de la relación en edad-altura, edad-diámetro, edad-área basal y edad-volumen para hacer un diagnóstico del diagrama de dispersión. Se comparó el diagrama de dispersión con los diferentes ajustes de los modelos, de acuerdo con los diferentes valores que sus parámetros pueden adoptar.

La elección entre modelos se fundamentó en los siguientes criterios estadísticos: 1) el valor mínimo del cuadrado medio del error (CME), 2) el valor máximo del coeficiente de determinación ( $R_{aj}^2$ ), 3) análisis de los residuales estudentizados (r-Student) y 4) criterio de convergencia (Sit y Poulin-Costello, 1994).

### **3.7. Comparación de incremento medio anual entre plantaciones**

Para la comparación entre las medias de IMA para las variables altura, diámetro, área basal y el volumen hasta una edad de siete años de las plantaciones se utilizó la prueba t Student ( $P < 0.05$ ) en el programa PAST (Paleontological Statistics) que permite comparar dos poblaciones independientes, dicha prueba es usada en muestras  $\leq 30$  que tengan distribución normal y homogeneidad en sus varianzas (Sánchez, 2015). La distribución normal fue comprobada con la prueba de Shapiro-Wilk que se justifica por ser una prueba paramétrica tener un tamaño de muestra menor a 50 (Hanusz *et al.*, 2014).

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. Crecimiento e incremento en altura de dos plantaciones forestales comerciales

De los modelos empleados para la relación edad-altura, el seleccionado fue el de Gompertz en ambas plantaciones, ya que presentó el menor valor del cuadrado medio del error (CME) (0.2969 en plantación A y 0.3825 en plantación B) y el mayor coeficiente de determinación ajustado ( $R_{aj}^2$ ) (0.90 en plantación A y 0.91 en plantación B), señalándose de manera sombreada en el Cuadro 2.

Los otros modelos que se probaron fueron Schumacher, Weibull, Chapman Richards y Logístico de los cuales el siguiente mejor fue Chapman Richards al presentar valores en el coeficiente de determinación ajustado ( $R_{aj}^2$ ) de 0.97 en plantación A y 0.97 en plantación B y del cuadrado medio del error (CME) 0.3753 en plantación A y 0.4910 en plantación B, pero fue descartado por presentar una convergencia mayor a  $<.0005$  en los datos de estimación.

Cuadro 2. Modelos ajustados en relación edad-altura para *Pinus greggii* Engelm. var. *greggii* en dos plantaciones de la subcuenca de Santiaguillo, Durango

Plantación A									
Variable	Modelo	$\beta$	Estimación	Pr > F	$R^2$	$R_{aj}^2$	CME	RCME	Pr > F
Altura	M1	$\beta_0$	1.7519	<.0001	0.7599	0.7565	0.4145	0.6438	<.0001
		$\beta_1$	-1.7613	<.0001					
	M2	$\beta_0$	6.1221	<.0001					
		$\beta_1$	0.2397	<.0001					
		$\beta_2$	0.9417	<.0001					
	M3	$\beta_0$	6.0312	0.002					
		$\beta_1$	0.2116	0.0123					
		$\beta_2$	0.9233	<.0001					
	M4	$\beta_0$	4.2128	<.0001					
		$\beta_1$	2.2005	<.0001					
		$\beta_2$	0.9888	<.0001					
	M5	$\beta_0$	4.7583	<.0001					
		$\beta_1$	1.0025	<.0001					
		$\beta_2$	0.6107	<.0001					
	Plantación B								
Variable	Modelo	$\beta$	Estimación	Pr > F	$R^2$	$R_{aj}^2$	CME	RCME	Pr > F
Altura	M1	$\beta_0$	1.9338	<.0001	0.7840	0.7815	0.5379	0.7334	<.0001
		$\beta_1$	-1.9212	<.0001					
	M2	$\beta_0$	6.0518	<.0001					
		$\beta_1$	0.2400	<.0001					
		$\beta_2$	1.1628	<.0001					
	M3	$\beta_0$	6.1396	0.0022					
		$\beta_1$	0.3342	0.0034					
		$\beta_2$	1.2273	0.0233					
	M4	$\beta_0$	5.7073	<.0001					
		$\beta_1$	2.2831	<.0001					
		$\beta_2$	0.8695	<.0001					
	M5	$\beta_0$	5.861	<.0001					
		$\beta_1$	1.041	<.0001					
		$\beta_2$	0.5557	<.0001					

Dónde:  $\beta$ = parámetros, M1= Schumacher, M2= Weibull, M3= Chapman Richards, M4= Logístico y M5= Gompertz.

Con relación a la curva ajustada del crecimiento en altura, la curva en la plantación A presenta un ritmo de crecimiento rápido progresivo durante sus primeros cuatro años mientras que la plantación B en los primeros cinco años del establecimiento de ésta (Figura 2). También se observan que las curvas ajustadas tienen un crecimiento continuo y posterior una declinación, pues no han terminado su crecimiento, esto es debido a que ambas plantaciones se encuentran en estado juvenil.

El IMA para altura de estas dos plantaciones presenta un incremento rápido en su primer año en seguida comienzan a descender en el año número dos y se detiene esta disminución hasta el año tres. En la plantación A se muestra gráficamente la disminución de la tendencia en contraste con la plantación B que muestra un mínimo ascenso en el año tres, pero vuelve a bajar de manera constante. Esto puede ser debido al estado juvenil en que se encuentran los árboles de ambas plantaciones aunado a que están bajo las mismas condiciones, son de la misma especie y variedad (Klepac, 1976).

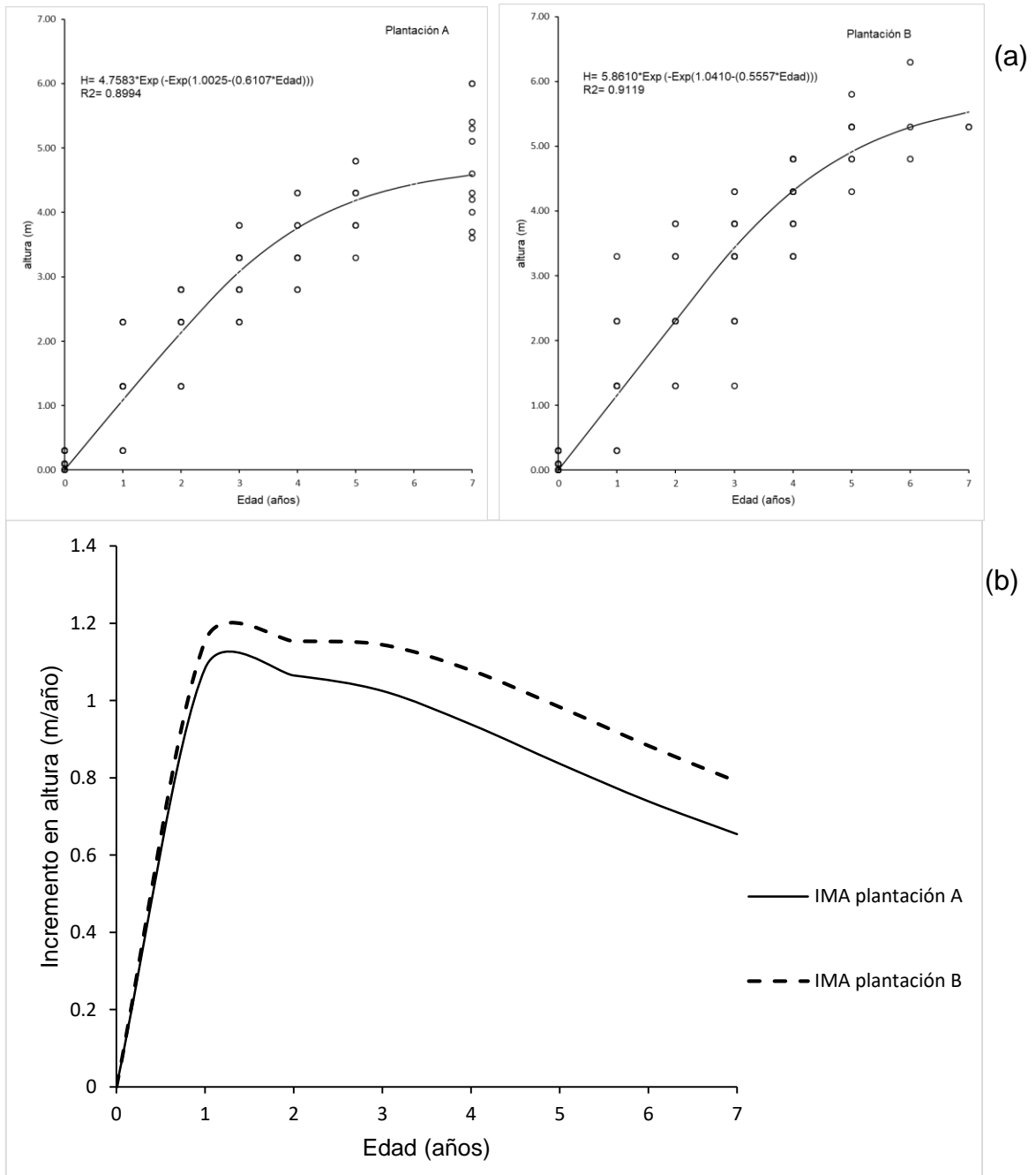


Figura 3. Curva de crecimiento con el modelo Gompertz para cada plantación (a) y curvas de incrementos de ambas plantaciones (b) para la relación edad-altura para *Pinus greggii* Engelm. var. *greggii* en plantaciones (subcuenca de Santiaguillo), Durango, México.

En un estudio epidométrico e índice de sitio para *Pinus montezumae* Lamb. en la región de Cd, Hidalgo, Michoacán, Pereyra (2003) reporta el modelo Gompertz como el mejor ajustado en el crecimiento e incremento en altura, semejante al presente estudio, en ambos trabajos se probaron más de tres modelos matemáticos para elegir el mejor, pero se presentaron diferentes CME y  $R_{aj}^2$ .

Comparando los resultados de IMA del presente estudio con los que obtuvo Muñoz (2012) en una evaluación de una plantación de *Pinus greggii* var. *Australis* con dos espaciamientos en la sierra Purépecha, Michoacán; donde señala que a la edad de seis años presentó valores que van de 1.15 y 1.23 m año<sup>-1</sup>, los cuales no sugieren diferencias importantes entre sí, mientras en este estudio se presentaron valores de 1.08 m año<sup>-1</sup> en la plantación A y 1.15 m año<sup>-1</sup> en la B, siendo resultados similares entre el incremento medio anual de ambos estudios. Representando buenos incrementos de las plantaciones analizadas en el presente trabajo.

#### **4.2. Crecimiento e incremento en diámetro a 0.10 m**

El modelo seleccionado (sombreado) en el cuadro 3, para el crecimiento e incremento en diámetro que presentó mejor ajuste para la relación edad-diámetro fue el de Gompertz, por presentar el menor valor del cuadrado medio del error CME 0.7982 en plantación A y 1.4248 en plantación B, así como mejor coeficiente de determinación ajustado  $R_{aj}^2$  (0.94 en plantación A y 0.92 en la plantación B). También destacaron los modelos Logístico y Chapman Richards por presentar valores cercanos a los del modelo elegido lo que permite ser recomendados para el estudio del crecimiento en diámetro en plantaciones.

Cuadro 3. Modelos con mejor ajuste en relación edad-diámetro, para *Pinus greggii* Engelm. var. *greggii* en dos plantaciones de la subcuenca de Santiaguillo, Durango

Plantación A									
Variable	Modelo	$\beta$	Estimación	Pr > F	$R^2$	$R_{aj}^2$	CME	RCME	Pr > F
Diámetro	M1	$\beta_0$	2.9458	<.0001	0.9214	0.9204	0.9208	0.9596	<.0001
		$\beta_1$	-4.7827	<.0001					
		$\beta_0$	7.6778	<.0001					
	M2	$\beta_1$	0.1116	0.0242	0.7417	0.7347	3.0687	1.7518	<.0001
		$\beta_2$	1.3531	0.0002					
		$\beta_0$	9.1438	<.0001					
	M3	$\beta_1$	0.3109	<.0001	0.9229	0.9208	0.9163	0.9572	<.0001
		$\beta_2$	2.8074	<.0115					
		$\beta_0$	9.4406	<.0001					
	M4	$\beta_1$	3.6090	<.0001	0.9373	0.9358	0.8486	0.9212	<.0001
		$\beta_2$	1.0239	<.0001					
		$\beta_0$	10.3304	<.0001					
	M5	$\beta_1$	1.7920	<.0001	0.9410	0.9396	0.7982	0.8934	<.0001
		$\beta_2$	0.5889	<.0001					
Plantación B									
Variable	Modelo	$\beta$	Estimación	Pr > F	$R^2$	$R_{aj}^2$	CME	RCME	Pr > F
Diámetro	M1	$\beta_0$	2.9807	<.0001	0.8432	0.8419	2.4561	1.5672	<.0001
		$\beta_1$	-5.9586	<.0001					
		$\beta_0$	10.3735	<.0001					
	M2	$\beta_1$	0.0466	0.0107	0.8539	0.8515	2.3076	1.5191	<.0001
		$\beta_2$	1.4549	<.0001					
		$\beta_0$	13.527	<.0001					
	M3	$\beta_1$	0.2450	0.0019	0.8509	0.8484	2.3558	1.5349	<.0001
		$\beta_2$	2.3980	0.0027					
		$\beta_0$	11.3494	<.0001					
	M4	$\beta_1$	3.0761	<.0001	0.9133	0.9221	1.3582	1.1654	<.0001
		$\beta_2$	0.6116	<.0001					
		$\beta_0$	12.7356	<.0001					
	M5	$\beta_1$	1.4521	<.0001	0.9196	0.9183	1.4248	1.1936	<.0001
		$\beta_2$	0.3397	<.0001					

Dónde:  $\beta$  =parámetros, M1= Schumacher, M2= Weibull, M3= Chapman Richards, M4= Logístico y M5= Gompertz.



La curva de crecimiento en diámetro a una altura de 0.10 m (Figura 4 a) en la plantación A, presenta durante su primer año un crecimiento lento y al segundo año comienza a elevarse y toma una forma sigmoïdal, hasta el año siete se aprecia que sigue teniendo una tendencia hacia arriba, lo que indica que la plantación está en un estado juvenil, además por tratarse de una plantación, esta tiene su desarrollo en proceso.

En la plantación B la curva de crecimiento en diámetro a una altura de 0.10 m se observa un crecimiento lento en los primeros dos años de establecimiento y aumento de este crecimiento comienza a partir del tercer año y continua constante. De igual manera es una plantación y está en estado juvenil, siguiendo su respectivo desarrollo.

En las curvas de incremento en diámetro se puede observar el incremento es lento en los primeros años, en la plantación A se percibe una ligera curva al llegar a los cuatro años y para el año cinco se tiene un IMA de  $1.5 \text{ cm año}^{-1}$  siendo éste el máximo hasta los siete años de evaluación, en seguida la línea disminuye, pero sigue siendo constante. Por otro lado, en la plantación B se muestra una interrupción en el primer año de su establecimiento, para el año dos sigue con la tendencia hacia arriba y se muestra constante, en esta plantación y para los siete años de evaluación tiene un IMA de  $1.22 \text{ cm año}^{-1}$  (Figura 4 b). Klepac (1976) señala que los mismos factores que influyen en el crecimiento e incremento del árbol en altura, son los mismos que actúan en diámetro, aunque el crecimiento e incremento de esta última variable depende más del ambiente; dentro de ciertos límites el incremento en diámetro es mayor cuando hay más espacio y luz, lo que explica la respuesta que se observa en las curvas en la Figura 4 b.

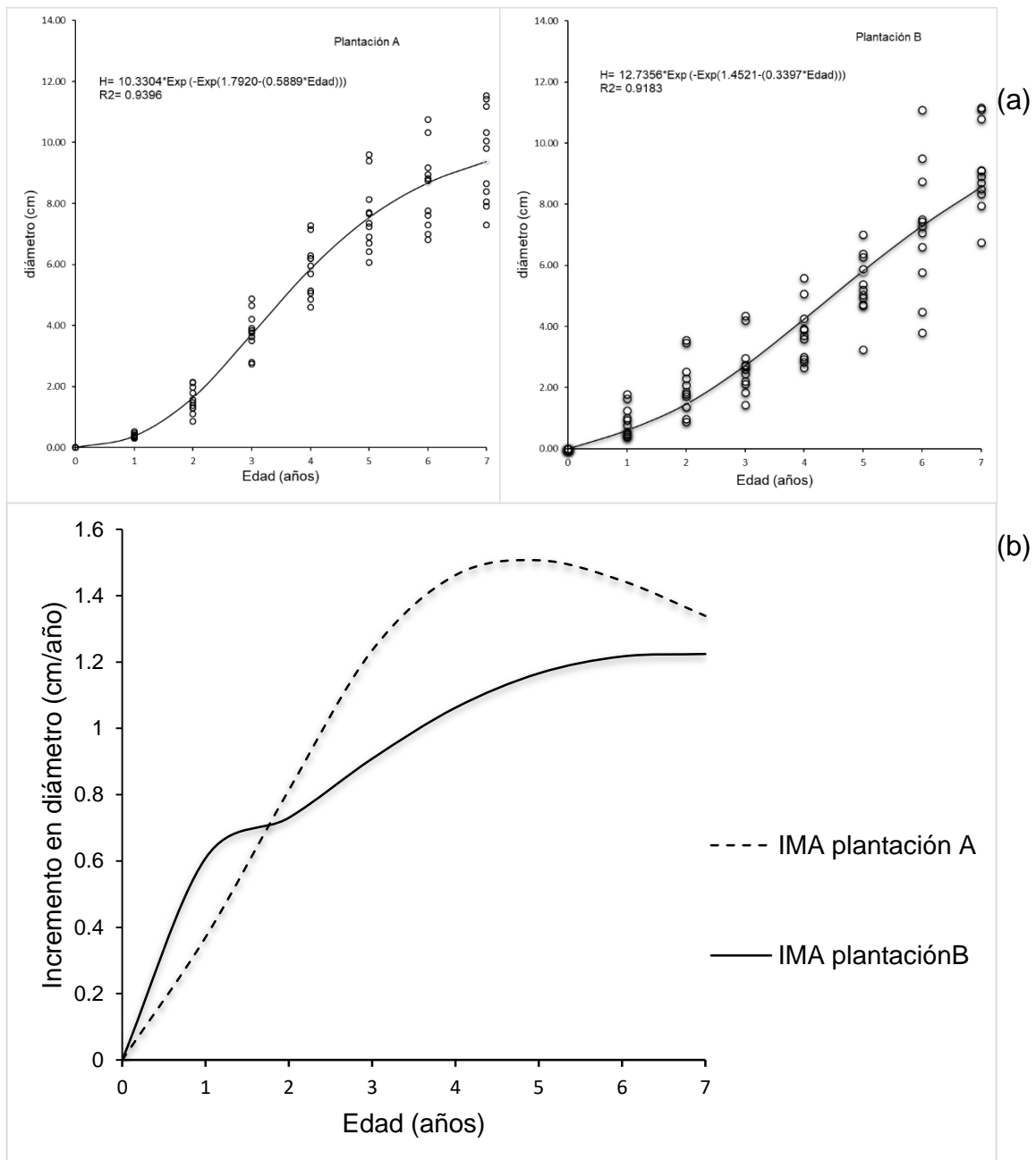


Figura 4. Curvas de crecimiento con el modelo Gompertz para cada plantación (a) y curvas de incremento medio anual (IMA) de ambas plantaciones para la relación edad-diámetro (b) en dos plantaciones de la especie *Pinus greggii* Engelm. var. *greggii* dentro de la subcuenca de Santiaguillo, Durango.

En otro estudio, López (2015), evaluó el crecimiento en plantaciones de tres especies de pinos a 20 años de establecidas en Miahuatlán, Oaxaca donde encontró para la especie de *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. & Cham var. *longepedunculata* que la ecuación de Gompertz tuvo los estadísticos de mejor ajuste, exponiendo los valores más altos en ( $R_{aj}^2$ ). =0.89 en contraste con los del presente trabajo que fueron 0.94 en la plantación A y 0.92 en plantación B. Por otra parte, en un estudio epidométrico de una plantación de *Pinus greggii* en el CAESA, Los Lirios, Arteaga, Coahuila De la Cruz (2010), indica que el modelo de Gompertz fue el mejor ajustado en relación edad-diámetro con valores en CME 1.3955 y  $R_{aj}^2$ . 0.96 siendo esto similar al presente estudio.

En el estudio antes mencionado por De la Cruz (2010), describe que el IMA tiene un crecimiento lento a partir de los tres años hasta los 14 años donde alcanza su máximo valor de incremento de 0.553 cm año<sup>-1</sup> diferenciándose del presente estudio por los valores obtenidos en IMA de 1.50 cm año<sup>-1</sup> en plantación A y 1.22 cm año<sup>-1</sup> en la plantación B.

Muñoz (2012), quien evaluó una plantación de *Pinus greggii* con dos espaciamientos, reporta a la edad de seis años un IMA que fluctúa de 1.94 a 2.06 cm año<sup>-1</sup>, valores mayores a los obtenidos en presente estudio, pero similares al ser mayores de 1 cm año<sup>-1</sup>.

#### **4.3. Crecimiento e incremento en área basal a 0.10 m**

El modelo seleccionado para la relación edad-área basal fue el de Logístico, ya que presentó el menor valor del CME (133.5 en la plantación A y 236.4 en plantación B), además de tener un valor de 0.84 de  $R_{aj}^2$ . en la plantación A y 0.86 en plantación B, se encuentra señalado sombreado en el Cuadro 4. También los modelos Gompertz y Schumacher arrojaron buenos resultados al presentar valores similares al modelo seleccionado.

Cuadro 4. Modelos con mejor ajuste en relación edad-área basal, para *Pinus greggii* Engelm. Var. *greggii* en dos plantaciones de la subcuenca de Santiaguillo, Durango

Plantación A									
Variable	Modelo	$\beta$	Estimación	Pr > F	$R^2$	$R_{aj}^2$	CME	RCME	Pr > F
área basal	M1	$\beta_0$	5.673	<.0001	0.8037	0.802	337.9	18.3821	<.0001
		$\beta_1$	-11.2042	<.0001					
		$\beta_0$	35.3121	<.0001					
	M2	$\beta_1$	0.9262	<.0001	0.1126	0.0886	774	27.8209	0.012
		$\beta_2$	3.591	0.1403					
		$\beta_0$	-10.4108	0.9988					
	M3	$\beta_1$	0.00988	0.9998	-1.203	-1.2625	1921.6	43.8361	0.0004
		$\beta_2$	0.9158	0.9999					
		$\beta_0$	77.0974	<.0001					
	M4	$\beta_1$	4.7858	<.0001	0.8462	0.8426	133.5	11.5542	<.0001
		$\beta_2$	1.0228	<.0001					
		$\beta_0$	92.5813	<.0001					
	M5	$\beta_1$	2.2862	0.0082	0.8428	0.8391	136.5	11.6833	<.0001
		$\beta_2$	0.52	0.0020					
Plantación B									
Variable	Modelo	$\beta$	Estimación	Pr > F	$R^2$	$R_{aj}^2$	CME	RCME	Pr > F
área basal	M1	$\beta_0$	5.673	<.0001	0.8309	0.8295	288	16.9706	<.0001
		$\beta_1$	-11.2042	<.0001					
		$\beta_0$	80.9417	<.0001					
	M2	$\beta_1$	21.4006	1	0.6916	-0.7203	2936.1	54.1858	.
		$\beta_2$	8.9716	0					
		$\beta_0$	57.9839	<.0001					
	M3	$\beta_1$	1.1302	0.9973	0.0736	-0.0918	1863.5	43.1683	.
		$\beta_2$	0.0066	0.9981					
		$\beta_0$	25.9959	<.0001					
	M4	$\beta_1$	6.8838	<.0001	0.8646	0.8625	236.4	15.3753	<.0001
		$\beta_2$	1.0174	<.0001					
		$\beta_0$	104.9000	<.0001					
	M5	$\beta_1$	2.8750	<.0001	0.8625	0.8603	240.2	15.4984	<.0001
		$\beta_2$	0.2101	<.0001					

Dónde:  $\beta$  = parámetros, M1= Schumacher, M2= Weibull, M3= Chapman Richards, M4= Logístico y M5= Gompertz.

Las curvas de crecimiento en el área basal a una altura de 0.10 m (Figura 5 a) en ambas plantaciones se presenta cóncava en sus primeros dos años de establecidas, se muestra lento el crecimiento alcanzando un área basal de  $3.08 \text{ cm}^2 \text{ año}^{-1}$  en la plantación A y  $2.29 \text{ cm}^2 \text{ año}^{-1}$  en plantación B. En la primera plantación se observa el crecimiento inmediato a los tres años teniendo la curva de forma sigmoideal llegando a un valor de  $70.52 \text{ cm}^2 \text{ año}^{-1}$  en el año siete de la evaluación y muestra la continuidad de esta curva refiriéndose al crecimiento que sigue teniendo. Por otro lado, en la plantación B, la curva de crecimiento representa un lento crecimiento y comienza a dispararse a los cuatro años, donde tiene un valor de  $10.75 \text{ cm}^2 \text{ año}^{-1}$  y a la edad de siete años  $64.89 \text{ cm}^2 \text{ año}^{-1}$ ; cabe mencionar que la curva continúa con la tendencia hacia positiva. La razón es que se trata de unas plantaciones que siguen en su desarrollo y están en constante crecimiento.

Las curvas de IMA (Figura 5 b) en ambas plantaciones el crecimiento es continuo desde su establecimiento hasta el primer año donde se observa un descenso hasta el año dos que vuelve a incrementar de manera lenta. En la plantación A se muestra un poco más acelerado el crecimiento hasta el año cinco donde se presenta un IMA de  $10.20 \text{ cm}^2 \text{ año}^{-1}$  siendo éste el más alto hasta el momento de la evaluación. En la plantación B después de la pequeña disminución del incremento, este vuelve a crecer de manera lenta, registrando un IMA de  $9.28 \text{ cm}^2 \text{ año}^{-1}$  siendo éste el más alto en el séptimo año de su evaluación y que se muestra en crecimiento.

El incremento en área basal en ocasiones se deja pasar por alto, pero es el incremento que mejor explica la competencia por espacio (Ríos, 2021) lo cual explica la respuesta de las curvas de las plantaciones evaluadas.

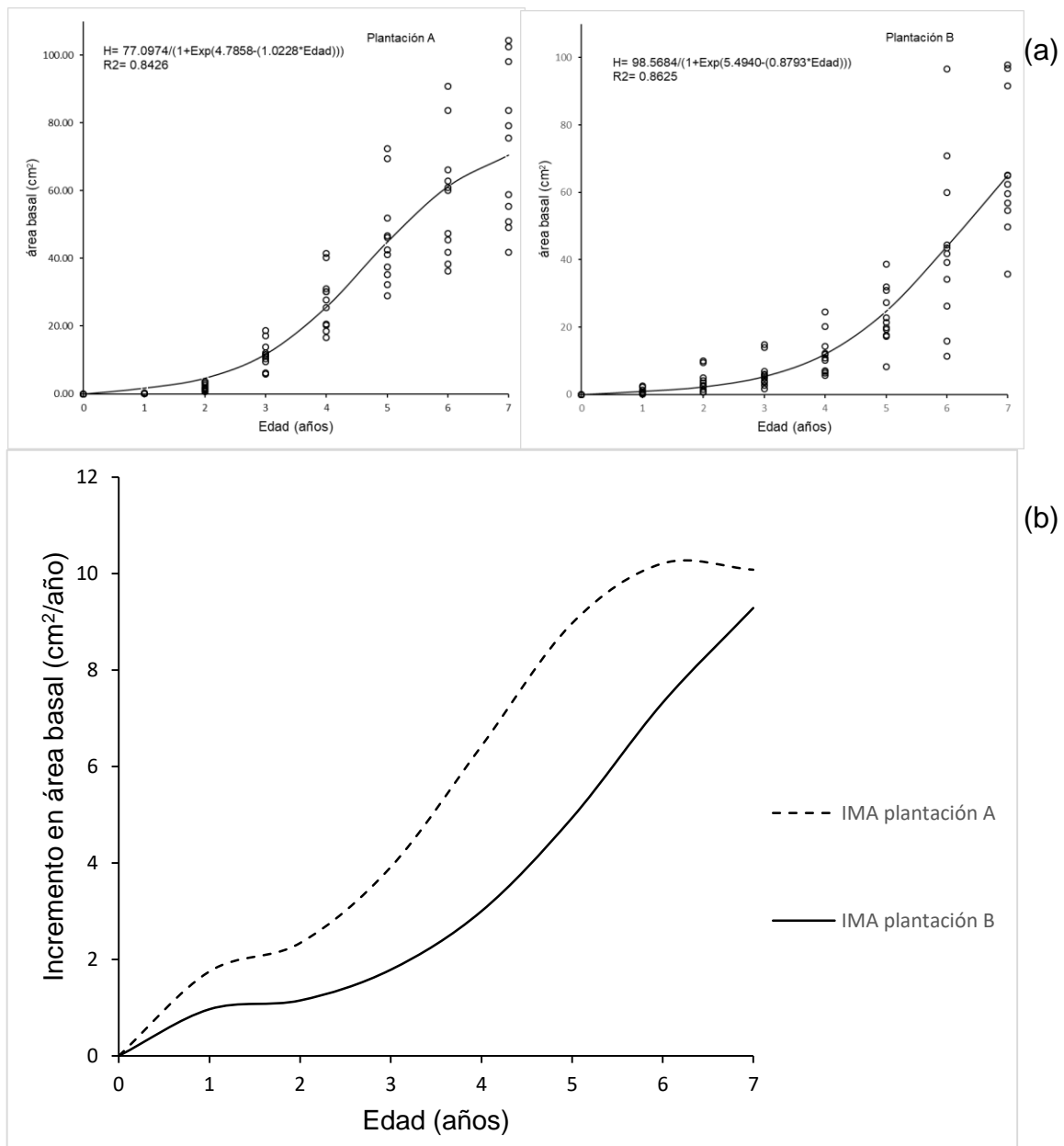


Figura 5. Curvas de crecimiento con modelo Logístico para cada plantación (a) y curvas de incremento medio anual (IMA) de ambas plantaciones para la relación edad-área basal (b) en dos plantaciones de la especie *Pinus greggii* Engelm. var. *greggii* dentro de la subcuenca de Santiaguillo, Durango.

En un estudio epidométrico para *Pinus herrerae* Martínez en la región de Cd. Hidalgo, Michoacán, México, Calvillo (2005) reportó el modelo Logístico como el mejor para la relación edad-área basal (CME 0.00037 y el valor más alto en  $R_{aj}^2$  de 0.94). Esto coincide con el presente trabajo al haberse ajustado de mejor manera el modelo Logístico, al obtener valores de  $R_{aj}^2$  de 0.84 y 0.86, así como 133.5 y 236.4 del CME para la plantación A y B respectivamente.

Por otra parte, Pereyra (2003) en un estudio epidométrico e índice de sitio para *Pinus montezumae* Lamb. en la región de Cd. Hidalgo, Michoacán reporta que le mejor modelo que se ajustó para esta variable fue el de Chapman-Richards con valores en  $R_{aj}^2$  (0.87). Mientras que en el presente trabajo se obtuvieron valores de 0.84 y 0.86 para el mismo estadístico, pero con el modelo Logístico en las dos plantaciones evaluadas.

En un estudio epidométrico en una plantación de *Pinus greggii* Engelm. en el CAESA, Los Lirios, Arteaga, Coahuila. De la Cruz (2010) describe la curva de IMA donde incrementa desde los primeros tres años hasta los 16 años alcanzando un IMA de  $0.0351 \text{ m}^2 \text{ año}^{-1}$ , esta curva sigue con una tendencia positiva. Similar dicha tendencia con el presente estudio donde los incrementos de ambas plantaciones también incrementan desde el inicio del establecimiento, pero no han llegado a su máximo IMA. Esto debido a que son plantaciones en estado juvenil y continúan con su desarrollo.

#### **4.4. Crecimiento e incremento en volumen**

El modelo Logístico (sombreado) en el Cuadro 5., para la variable edad-volumen obtuvo el mejor ajuste en ambas plantaciones (A y B) al igual que en área basal por presentar valores bajos en CME (6.1405 y 42.1227) y los valores más altos en  $R_{aj}^2$  0.80 y 0.77 respectivamente.

Cuadro 5. Modelos con mejor ajuste en relación edad-volumen, para *Pinus greggii* Engelm. var. *greggii* en dos plantaciones de la subcuenca de Santiaguillo, Durango

Plantación A										
Variable	Modelo	$\beta$	Estimación	Pr > F	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> <sub>aj</sub>	CME	RCME	Pr > F	
volmen	M1	$\beta_0$	4.5303	<.0001	0.7827	0.7798	6.9354	2.6335	<.0001	
		$\beta_1$	-13.6752	<.0001						
	M2	$\beta_0$	0.0121	.	-0.7572	-0.7807	56.0776	7.4885	0.9957	
		$\beta_1$	3.7075	.						
	M3	$\beta_2$	-345849	.	0	-0.0169	183.4	13.5425	0.0338	
		$\beta_0$	2039.2	<.0001						
		$\beta_1$	3.8656	.						
	M4	$\beta_2$	0.7813	.	0.8008	0.7061	6.1405	2.4125	<.0001	
		$\beta_0$	17.2652	<.0001						
		$\beta_1$	5.2995	0.0002						
	M5	$\beta_2$	0.9223	0.0001	0.7077	0.793	6.2342	2.4288	<.0001	
		$\beta_0$	25.4768	0.0708						
		$\beta_1$	2.3825	0.0075						
			$\beta_2$	0.4077	0.1006					
	Plantación B									
Variable	Modelo	$\beta$	Estimación	Pr > F	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> <sub>aj</sub>	CME	RCME	Pr > F	
volmen	M1	$\beta_0$	4.6567	<.0001	0.7827	0.7798	6.9354	2.6335	<.0001	
		$\beta_1$	-14.3735	<.0001						
	M2	$\beta_0$	0.0823	.	-0.7572	-0.7807	56.0776	7.4885	0.9872	
		$\beta_1$	3.7075	.						
	M3	$\beta_2$	-345849	.	0	-0.0169	183.4	13.5425	.	
		$\beta_0$	11.2048	.						
		$\beta_1$	17130.6	.						
	M4	$\beta_2$	-133391	.	0.7666	0.7630	42.1227	6.4902	<.0001	
		$\beta_0$	25.9959	<.0001						
		$\beta_1$	6.8838	<.0001						
	M5	$\beta_2$	1.0174	<.0001	0.7657	0.7621	42.2848	6.5027	<.0001	
		$\beta_0$	27.7248	<.0001						
		$\beta_1$	3.7904	0.0015						
			$\beta_2$	0.6082	0.0009					

Dónde:  $\beta$  = parámetros, M1= Schumacher, M2= Weibull, M3= Chapman Richards, M4= Logístico y M5= Gompertz.



Los otros modelos que también destacaron son los de Gompertz y el de Schumacher. Gompertz presentó un CME= 6.2342 y una  $R_{aj}^2 = 0.71$  en plantación A, mientras que en la plantación B presentó un CME=42.2848 y una  $R_{aj}^2 = 0.76$ ; el modelo de Schumacher mostró valores en CME de 6.9354 y una  $R_{aj}^2$  de 0.78 en plantaciones A y B.

Las curvas de crecimiento en volumen de las plantaciones A y B (Figura 6 a) presentan una parte cóncava en sus primeros tres años, en donde el crecimiento de estas plantaciones es lento, en el siguiente año empiezan de nuevo su incremento, la plantación A comienza a tener una forma convexa en la línea de crecimiento, mientras tanto en la plantación B sólo sigue la tendencia hacia arriba. En la primera plantación (A) se llega a un volumen de  $13.1332 \text{ dm}^3 \text{ año}^{-1}$  y en la plantación B llega a  $14.5374 \text{ dm}^3 \text{ año}^{-1}$ , ambas a los siete años de su evaluación.

Las curvas de incremento medio anual en volumen (Figura 6 b) se muestran similares a las de área basal teniendo valores de  $0.21 \text{ dm}^3$  en la plantación A y  $0.07 \text{ dm}^3$  en la B al llegar a un año. Ambas plantaciones tienen un incremento lento hasta llegar a un IMA de 1.87 y  $2.07 \text{ dm}^3$ ; denotándose que en ambas curvas de incremento muestran una tendencia positiva, puesto que al paso de los años el crecimiento en volumen aumenta.

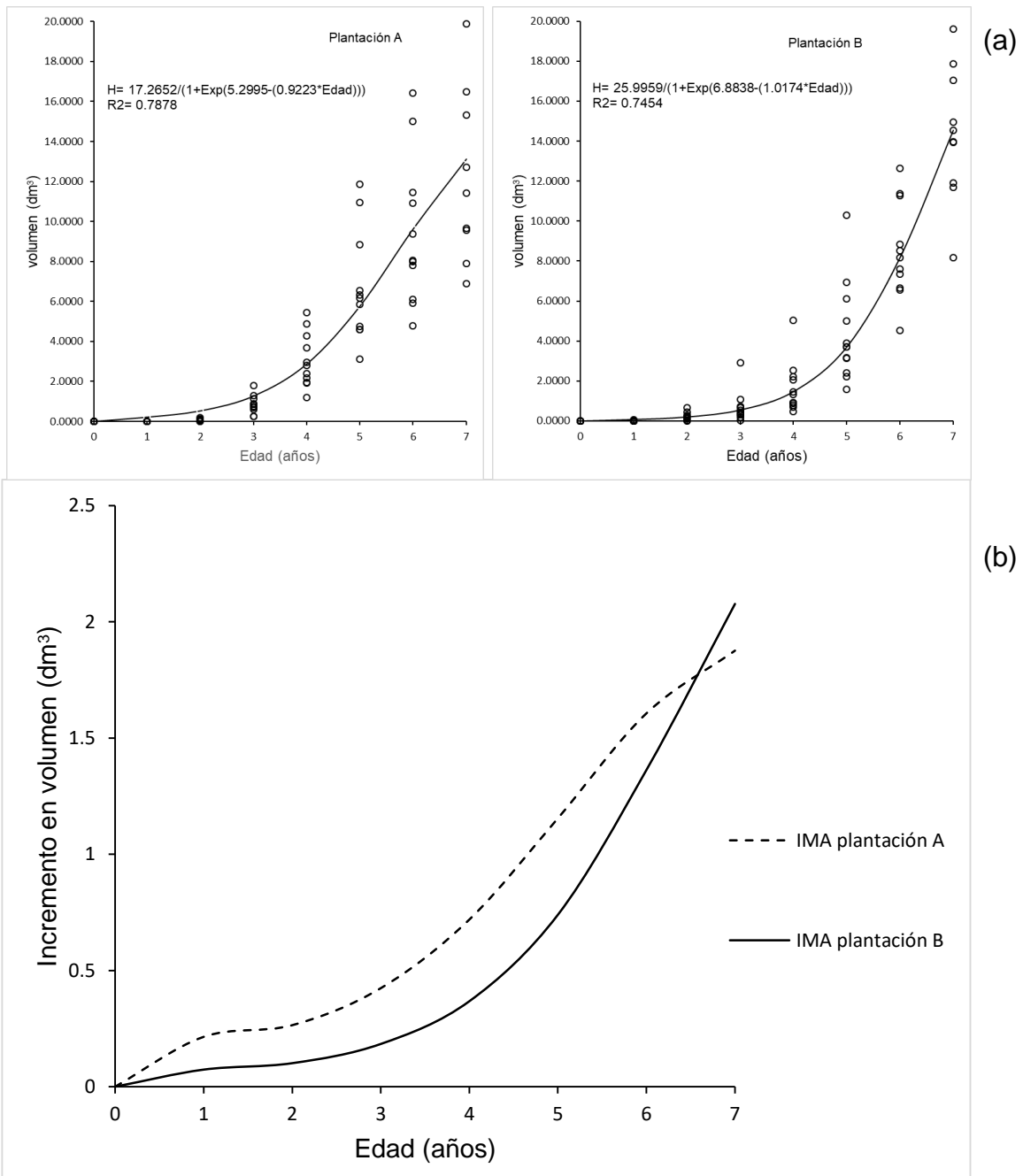


Figura 6. Curvas de crecimiento con el modelo Logístico para cada plantación (a) y curvas de incremento medio anual (IMA) de ambas plantaciones (b) para la relación edad-volumen en dos plantaciones de la especie *Pinus greggii* Engelm. var. *greggii* dentro de la subcuenca de Santiaguillo, Durango.

El volumen de un árbol aumenta con la altura y el diámetro desde su nacimiento hasta su muerte y naturalmente la curva de crecimiento es en forma de S (Klepac, 1976). No obstante, en el presente estudio aun no logra definirse debido al estado juvenil que presentan estas plantaciones.

En un estudio epidométrico en una plantación de *Pinus greggii* Engelm. en el CAESA, Los Lirios, Arteaga Coahuila. De la Cruz (2010) describe que el modelo seleccionado que presentó mejor ajuste para la relación edad-volumen fue el Logístico por presentar el valor más bajo en el CME (0.0000021) y el valor más alto de  $R_{aj}^2$  (0.98). Lo anterior coincide con los resultados, para edad-volumen del presente estudio, al haberse ajustado de mejor manera el modelo Logístico, aunque no tuvieron semejanzas en los valores de CME y  $R_{aj}^2$ .

En el estudio de la autora primeramente mencionada (De la Cruz, 2010), señala que el IMA inicia con un crecimiento lento a partir de los dos años y hasta los 16 años, donde alcanza su máximo valor en incremento de  $0.001425 \text{ m}^3 \text{ año}^{-1}$  ( $1.425 \text{ m}^3 \text{ año}^{-1}$ ), siendo similar esta tendencia en el presente estudio. Sin embargo, los valores del IMA a siete años son mayores ( $1.87$  y  $2.07 \text{ dm}^3 \text{ año}^{-1}$ ) tanto en la plantación A como en la plantación B.

En otro estudio, Sosa (2001) evaluó el crecimiento e incremento de la regeneración natural de *Pinus teocote* Schl et Cham en rodales localizados al sur de Coahuila y sur de Nuevo León, describe que el modelo que mejor ajustó para el crecimiento en volumen fue el de Gompertz. En su estudio recomienda el modelo Logístico para estudios de crecimiento debido a que también presentó buenos resultados en los valores de CME y  $R_{aj}^2$ .

#### 4.5. Comparación de IMA en altura, diámetro, área basal y volumen entre plantación A y plantación B

Al obtener el IMA de altura, diámetro, área basal y volumen se realizó una comparación de medias entre el IMA de las variables antes mencionadas con la prueba t Student. Así mismo mediante Shapiro-Wilk se comprobó la normalidad de los datos, donde ambas plantaciones presentan normalidad en sus datos (Cuadro 6).

Cuadro 6. Comparación de medias para IMA en las variables altura, diámetro, área basal y volumen en dos plantaciones dentro de la subcuenca de Santiaguillo, Durango

Variables	Plantación	Homocedasticidad T test	Normalidad (Shapiro- Wilk W)	Medias	t Student	Valor (p=0.05)
Altura (m)	A	0.7465	0.2606	1.0267	1.4365	0.1764
	B			0.9062		
Diámetro (cm)	A	0.2115	0.3697	1.1672	0.9690	0.3517
	B			0.9880		
área basal (cm <sup>2</sup> )	A	0.7946	0.0741	6.2380	1.1836	0.2595
	B			4.0630		
Volumen (dm <sup>3</sup> )	A	0.7533	0.0553	0.8940	0.5068	0.6215
	B			0.7007		

En el Cuadro 6 se puede observar que ninguna de las variables evaluadas (altura, diámetro, área basal y volumen) presentaron diferencias significativas en relación al IMA entre las dos plantaciones estudiadas. Dichas diferencias no significativas entre las plantaciones pudieran deberse a que ambas plantaciones presentan condiciones similares y necesarias para cumplir con los requerimientos ambientales que la especie *Pinus greggii* var. *greggii* demanda.

Estos resultados pueden deberse a condiciones edafológicas y climáticas similares, ya que el contraste de estas características en los resultados en IMA suelen ser diferentes, tal como en el trabajo de Guzmán (2021), donde estudió el crecimiento

en *Pinus cembroides* Zucc, en poblaciones naturales y plantaciones en tres localidades del Noroeste de México.

Finalmente, la selección de la variedad *greggii*, como material de origen de las plantas utilizadas en ambas plantaciones estudiadas, pudo atribuir el crecimiento presentado de los árboles. Así mismo, dado que ambas plantaciones están bajo las mismas condiciones climáticas y edáficas, estas no presentan diferencias estadísticamente significativas. Ya que de acuerdo a Nambiar (2008), las prácticas de manejo apropiadas y la utilización de material de plantación seleccionado y mejoramiento genético, aumentan el crecimiento de los árboles y mantiene la productividad del suelo.

## 5. CONCLUSIONES

Se modeló adecuadamente el crecimiento para altura, diámetro, área basal y volumen de *Pinus greggii* var. *greggii* utilizando los modelos Schumacher, Weibull, Chapman Richards, Logístico y Gompertz.

Los modelos seleccionados para las variables evaluadas (altura, diámetro, área basal y volumen) resultaron ser iguales en las dos plantaciones; Gompertz (altura y diámetro) y Logístico (área basal y volumen).

No se encontraron diferencias significativas entre ambas plantaciones con respecto al incremento medio anual (IMA) de las variables altura, diámetro, área basal y volumen. Por lo que a hipótesis nula no se rechaza, ya que no existen diferencias significativas en el IMA de las variables estudiadas entre dos plantaciones a los siete años de edad.

## 6. RECOMENDACIONES

Se recomienda realizar trabajos de evaluación de adaptaciones de la especie *Pinus greggii* var. *greggii* dentro de la subcuenca de Santiaguillo, Durango, por tratarse de una especie introducida en el estado.

Determinar las poblaciones de procedencia de la semilla que es utilizada para las plantaciones forestales comerciales en el estado de Durango.

Se recomienda el continuar con el monitoreo de las plantaciones estudiadas, para verificar las tendencias de sus incrementos a edades mayores.

Se recomienda realizar análisis de suelo para ver el efecto del tratamiento de preparación de sitio en estas y posteriores plantaciones.

## 7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aldrete A., J. G. Mexal, y J. Lopez U. (2005). Provenance variation and response to chemical root pruning in *Pinus greggii* seedlings. *Agrociencia* 5 (39): 563 – 571.

Recuperado de:

<https://agrociencia-colpos.mx/index.php/agrociencia/article/view/420/420>

Álvarez R. (2018). Insectos en plantaciones de *pinus greggii*, en Durango, México. *Revista Latinoamericana el Ambiente y las Ciencias*, 9(21). Recuperado de:

<https://rlac.buap.mx/sites/default/files/9%2821%29-84.pdf>

Arteaga B. (2003). Evaluación dasométrica de una plantación de *Pinus spp.* en Perote, Veracruz, México. *Foresta Veracruzana*, 5(1),27-32. Recuperado de:

<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=49750105>

Azamar M., J. López, J., J. Vargas H. y A. Plancarte B. (2000). Evaluación de un ensayo de procedencias-progenies de *Pinus greggii* y su conversión a huerto semillero. IN: 1er Congreso Nacional de Reforestación. Montecillo, Méx. Memorias in extenso. S.p. 7p. Recuperado de:

<file:///C:/Users/adrig/Downloads/P.greggiensayoprogramconverHSSMeteppec.pdf>

Benítez B., M. (2010). Sobrevivencia y crecimiento en altura de *Pinus greggii* Engelm., en plantaciones del noroeste de México. Tesis profesional. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Repositorio digital UAAAN. Recuperado de:

<http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/973/61468s.pdf?sequence=1&isAllowed=y>



Brienen R., J. W., P. Zuidema A. (2003). Anillos de crecimiento de árboles maderables en Bolivia: su potencial para el manejo de bosques y una guía metodológica. Informe técnico. No.7. Recuperado de:

[https://www.researchgate.net/publication/46644577\\_Anillos\\_de\\_crecimiento\\_de\\_arboles\\_maderables\\_en\\_Bolivia\\_su\\_potencial\\_para\\_el\\_manejo\\_de\\_bosques\\_y\\_una\\_guia\\_metodologica](https://www.researchgate.net/publication/46644577_Anillos_de_crecimiento_de_arboles_maderables_en_Bolivia_su_potencial_para_el_manejo_de_bosques_y_una_guia_metodologica)

Calvillo G., J. C., E. H. Cornejo, O., S. Valencia M. y C. Flores L. (2005). Estudio epidemico para *Pinus herrerae* Martínez en la región de Cd. Hidalgo, Michoacán, México. Revista Foresta veracruzana. 7(1): 5-10. Recuperado de:

[https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/48018246/Estudio\\_epidomtrico\\_para\\_pinus\\_herrerae\\_20160813-12989-10jgob2-with-cover-page-v2.pdf?Expires=1637032196&Signature=WFVuKNntQwcmJCekqEAaYXlAkAdnvvSGFtnlur08DnWNYLo~lu5D9kuErTYUnDg2C0S6XpgkqyjJC8QtJDdtMAsvB4GUpilDgvpddfMXwhvwCTI~C88mTfAK6jBliB~nPGUC1kedH84m3KUs~UFdd2bn2C1A8vUQOiy9tuKnLybrnTbgWZAOneDaU~QHBACNklrXJghz7PasIR21HjGn9rXfD17mhN1mACWGbOsGjriJmSYywxjVhFv2m83cpZL8ZbVkjHBXS6AEWkXdKvygRJ5OKlhm~0nMUqSPIESuln024px~BPGaLCLuidodKXRVDZ5tvJilvm1w~lqM3w\\_&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA](https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/48018246/Estudio_epidomtrico_para_pinus_herrerae_20160813-12989-10jgob2-with-cover-page-v2.pdf?Expires=1637032196&Signature=WFVuKNntQwcmJCekqEAaYXlAkAdnvvSGFtnlur08DnWNYLo~lu5D9kuErTYUnDg2C0S6XpgkqyjJC8QtJDdtMAsvB4GUpilDgvpddfMXwhvwCTI~C88mTfAK6jBliB~nPGUC1kedH84m3KUs~UFdd2bn2C1A8vUQOiy9tuKnLybrnTbgWZAOneDaU~QHBACNklrXJghz7PasIR21HjGn9rXfD17mhN1mACWGbOsGjriJmSYywxjVhFv2m83cpZL8ZbVkjHBXS6AEWkXdKvygRJ5OKlhm~0nMUqSPIESuln024px~BPGaLCLuidodKXRVDZ5tvJilvm1w~lqM3w_&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA)

Chapman G. W.; G Allan, T. (1978). Técnicas de establecimiento de plantaciones forestales. Roma, Italia. 206 p. Recuperado de:

<https://www.fao.org/3/ap010s/ap010s00.pdf>

CONAFOR. (2013). Programa de Desarrollo de Plantaciones Forestales Comerciales, a 15 años de su creación. A.M. Fierros González (Ed). Guadalajara, México: Semarnat- Conafor. Recuperado de:

[http://www.conafor.gob.mx/biblioteca/documentos/PROGRAMA\\_DE\\_DESARROLLO\\_DE\\_PFC\\_A\\_15\\_ANOS\\_DE\\_SU\\_CREACION.PDF](http://www.conafor.gob.mx/biblioteca/documentos/PROGRAMA_DE_DESARROLLO_DE_PFC_A_15_ANOS_DE_SU_CREACION.PDF)

CONAFOR. SF. Ficha técnica de *Pinus greggii* Engelm. SIRE Paquetes Tecnológicos, *Pinus greggii*. SIRE: CONABIO – PRONARE. 7p. Recuperado de:

<http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/13/961Pinus%20greggii.pdf>

CONAFOR (2008). Estudio regional forestal. Asociación de silvicultores asociados sierra noroeste A.C. 330 p. Recuperado de:

[http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/9/1106erf\\_umafor1007.pdf](http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/9/1106erf_umafor1007.pdf)

CONABIO. (2021). Catálogo de metadatos geográficos. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Recuperado de:

<http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>

De la cruz M., A. (2010). Estudio epídométrico en una plantación de *Pinus greggii* Engelm. en el CAESA, los Lirios, Arteaga, Coahuila. Tesis de licenciatura, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Repositorio digital UAAAN. Recuperado de:

<http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/handle/123456789/964>

De la Vega., C. F. (2012). Formulario de dendrometría. Universidad Autónoma Chapingo. 57 p.

Diéguez U., A. Rojo A., F. Castedo O., J. Álvarez G., M. Barrio F., J. Crecente, M. González, C. Pérez G., R. Rodríguez S., C. Lopez C., M.A. Balboa M., A. Gómez G., A. Martínez M., T. Martínez, A. Velázquez. (2014). Índices de anillos de crecimiento en dos coníferas del centro de México. Revista Iberoamericana de Bioeconomía y cambio climático. Vol. 1(1). 134-148. p. Recuperado de:

<https://www.researchgate.net/publication/280022194> Indices de anillos de crecimiento en dos coníferas del Centro de Mexico

Donahue J.K. y J. Lopez U. (1999). A new variety of *Pinus greggii* (PINACEAE) in México. SIDA. 18(4):1083-1093. Recuperado de:

<https://www.researchgate.net/publication/286623962> A new variety of Pinus greggii Pinaceae in Mexico

FAO. (2018). Estado de los bosques del mundo- Las vías forestales hacia el desarrollo sostenible. Roma. 153 p. Recuperado de:

<http://www.fao.org/3/I9535ES/i9535es.pdf>

García C., X., J. Hernández R., J. J. García M., A. Hernández R., V. Herrera A., A. González P. y E. J. Garfias M. (2017). Predicción de diámetro normal, altura y volumen de *Abies religiosa* a partir del diámetro del tocón. Madera y Bosques (23) 3. Pp 61-77. Recuperado de:

<https://www.redalyc.org/journal/617/61753521005/html/>

García E. (1987). Modificación al sistema de clasificación climática de Köppen, para adaptarla a las condiciones de la República Mexicana. UNAM. México. 245 p. Recuperado de:

<http://www.publicaciones.igg.unam.mx/index.php/ig/catalog/view/83/82/251-1>

González Z., M. (2000). Crecimiento e incremento en regeneración de *Pinus estevezii* (Mtz) Perry y su relación con características ambientales al sur de Nuevo León. Tesis de licenciatura, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Repositorio digital UAAAN. Recuperado de:

<http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/827/56439s.pdf?sequence=1>

Gómez G., A., T. Martínez T., A. Velázquez M., O. Sardiñas G., C. Rivera. y J. Toruño P. (2014). Índices de anillos de crecimiento en dos coníferas del centro de México. Revista Iberoamericana de Bioeconomía y Cambio climático. 1(1), 134-148. Recuperado de:

<https://www.camjol.info/index.php/RIBCC/article/view/2146/1932>

Gutierrez V., B. N., V. Cornejo O., A. Zermeño, G., S. Valencia M. y R. Mendoza V. (2010). Conversión de un ensayo de progenies de *Pinus greggii* var. *greggii* a huerto semillero mediante eigen-analisis. Bosque 31(1), 45-52. Recuperado de:

[https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0717-92002010000100006](https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-92002010000100006)

Guzmán L., M. C. (2021). Crecimiento en *Pinus cembroides* Zucc, en poblaciones naturales y plantaciones en tres localidades del Noroeste de México. Tesis profesional. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. 49 p. Recuperado de:

<http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/47639/K%2066911%20Guzm%c3%a1n%20Lemus%2c%20%20Mar%c3%ada%20del%20Carmen.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Hanusz Z., J. Tarasinska y W. Zielinski. (2014). Shapiro-Wilk Test Know Mean. Statistical Journal. (14) 12.

Hernández J., G. Gracia., X. García., J. Muños H., C. Velarde J., H. Olvera E. y J. García J. (2016). Ecuaciones de crecimiento e incremento para definir turnos de corta y madurez financiera en plantaciones de *Pinus greggii* Engelm. Revista Forestal Baracoa. (35) 1-9. Recuperado de:

[https://www.researchgate.net/publication/328290644\\_ECUACIONES\\_DE\\_CRECIMIENTO\\_E\\_INCREMENTO\\_PARA\\_DEFINIR\\_TURNOS\\_DE\\_CORTA\\_Y\\_MADUREZ\\_FINANCIERA\\_EN\\_PLANTACIONES\\_DE\\_Pinus\\_greggii\\_Engelm\\_GROWTH\\_AND\\_INCREMENT\\_EQUATIONS\\_TO\\_DEFINE\\_ROTATION\\_PERIODS\\_AND\\_FINANCIAL](https://www.researchgate.net/publication/328290644_ECUACIONES_DE_CRECIMIENTO_E_INCREMENTO_PARA_DEFINIR_TURNOS_DE_CORTA_Y_MADUREZ_FINANCIERA_EN_PLANTACIONES_DE_Pinus_greggii_Engelm_GROWTH_AND_INCREMENT_EQUATIONS_TO_DEFINE_ROTATION_PERIODS_AND_FINANCIAL)

Imaña E., J., O. Encinas B. (2008). Epidometría forestal. (1era edición). Ed. Edikapas C.A. 66p.

[https://repositorio.unb.br/bitstream/10482/9740/1/LIVRO\\_EpidometriaForestal.pdf](https://repositorio.unb.br/bitstream/10482/9740/1/LIVRO_EpidometriaForestal.pdf)

INEGI. (2000). Cuaderno Estadístico Municipal, Nuevo Ideal estado de Durango. Aguascalientes, Ags. México. 33p. Recuperado de:

[http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod\\_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/historicos/2104/702825928445/702825928445\\_1.pdf](http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/historicos/2104/702825928445/702825928445_1.pdf)

Klepac D. (1976). Crecimiento e incremento de árboles y masas forestales. Ed. E.N.A. UACH. México. 365 p.

Martínez C., G. (1999) Estado del conocimiento de *Pinus greggii* Engelm. Tesis profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, Edo. De México. 523 p. Recuperado de:

<http://files.departamento-de-productos-forest.webnode.es/200001640-b5b7db6b19/Martinez%20Cantera%20Gabriel%201999.pdf>

Muñoz F., H. J., V. M. Coria A., J. J. García S., E. Velasco M. y G. Martínez M. (2012). Evaluación de una plantación de *Pinus greggii* Engelm. Con dos espaciamientos en la sierra Purépecha, Michoacán. Revista mexicana de ciencias forestales, 3(11),57-70. Recuperado de:

[http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-11322012000300005](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-11322012000300005)

Musálem M., A. (2006). Silvicultura de Plantaciones Forestales Comerciales. 1° edición. Chapingo, Estado de México. 217 p. Recuperado de:

[http://dicifo.chapingo.mx/pdf/publicaciones/silvicultura\\_plantaciones\\_forestales\\_comerciales\\_2006.pdf](http://dicifo.chapingo.mx/pdf/publicaciones/silvicultura_plantaciones_forestales_comerciales_2006.pdf)

Nambiar E., K. S., J. Ranger, A. Tiarks y T. Toma. (2008). Site management and productivity in tropical plantation forests. Proceedings of Workshops in Piracicaba (Brazil) 22-26 November 2004 and Bogor (Indonesia) 6-9 November 2006. Center for International Forestry Research. 228 p. Recuperado de:

[https://www.cifor.org/publications/pdf\\_files/Books/BKallio0801.pdf](https://www.cifor.org/publications/pdf_files/Books/BKallio0801.pdf)

Prodan M., R. Peters, F. Cox y P. Real, (1997). Mensura Forestal. Proyecto IICA BMZ/GTZ, Sobre Agricultura, Recursos Naturales y Desarrollo Sostenible, San José, Costa Rica. 561 p. Recuperado de:

<http://repiica.iica.int/docs/B4179e/B4179e.pdf>

Pereyra G., J. A. 2003. Estudio epidométrico e índice de sitio para *Pinus montezumae* Lamb. En la región de Cd. Hidalgo, Michoacán. Tesis profesional. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo. 130p. Recuperado de:

<http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/859/57889s.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Ramírez H., C. J. Vargas H., y J. López U. (2005). Distribución y conservación de las poblaciones naturales de *Pinus greggii*. Acta botánica mexicana, (72), 1-16. Recuperado de:

[http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0187-71512005000300001&lng=es&tlng=](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-71512005000300001&lng=es&tlng=)

Ríos C., J. M. (2021). Sistemas de ecuaciones alométricas y análisis del crecimiento e incremento de especies forestales en Guerrero, México. Tesis profesional. Universidad Autónoma de Nuevo León. Nuevo León, México. 137 pp. Recuperado de:

<http://eprints.uanl.mx/21269/1/1080314892.pdf>

Rodríguez B., F. (2006). Cuencas hidrográficas, descentralización desarrollo regional participativo. Revista de las Sedes Regionales, VII (12), 113-125. Recuperado de:

<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=66612867008>

Sánchez T., R. A. (2015). t-Student: Usos y abusos. Revista mexicana de cardiología, 26(1), 59-61. Recuperado de:

[http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0188-21982015000100009](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-21982015000100009)

SEMARNAT Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2003). La cuenca hidrográfica: unidad básica de planeación y manejo de recursos naturales. Serie: alternativas productivas. Recuperado de:

[http://centro.paot.org.mx/documentos/semarnat/cuenca\\_hidrografica.pdf](http://centro.paot.org.mx/documentos/semarnat/cuenca_hidrografica.pdf)

SEMARNAT Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2012). Ficha informativa de Humedales de Ramsar (FIR). Base de datos. Recuperado de:

<https://rsis.ramsar.org/RISapp/files/RISrep/MX2046RIS.pdf>

SEMARNAT Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2020). Base de datos. Consulta temática. Plantaciones forestales comerciales. Recuperado de:

[http://dgeiawf.semarnat.gob.mx:8080/ibi\\_apps/WFServlet?IBIF\\_ex=D3\\_RFOREST\\_A09\\_02&IBIC\\_user=dgeia\\_mce&IBIC\\_pass=dgeia\\_mce&NOMBREENTIDAD=\\*&NOMBREANIO=\\*](http://dgeiawf.semarnat.gob.mx:8080/ibi_apps/WFServlet?IBIF_ex=D3_RFOREST_A09_02&IBIC_user=dgeia_mce&IBIC_pass=dgeia_mce&NOMBREENTIDAD=*&NOMBREANIO=*)

Serrada R. (2011). Apuntes de Silvicultura. Servicio de Publicaciones. EUIT Forestal. Madrid, España. 440p. Recuperado de:

[https://distritoforestal.es/images/Apuntes\\_de\\_Selvicultura\\_completo\\_2011.pdf](https://distritoforestal.es/images/Apuntes_de_Selvicultura_completo_2011.pdf)

Sepúlveda S. (2002). Desarrollo Sostenible Microregional. Métodos para Planificación Local. San José, IICA-UNA-CDT. 313 p. Recuperado de:

<https://repositorio.iica.int/handle/11324/7397>

Sit, V. y M. Poulin-Costello. (1994) Catalog of Curves for Curve Fitting. Biometrics information handbook series. Ministry of Forest Research Program. British Columbia. 110 p.

SIAFANI (Sociedad de Ingenieros Agrónomos Forestales y Ambientales de Nuevo Ideal). (2014). Primer Informe de Plantación Forestal Comercial. Plantaciones Forestales Comerciales. 8p.

Sosa A., M. A. (2001) Crecimiento e incremento de la regeneración natural de *Pinus teocote* Schl et Cham en rodales localizados al Sureste de Coahuila y Sur de Nuevo León. Tesis profesional. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo. 75p. Recuperado de:

<http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/845/57124s.pdf?sequence=1>

Vargas H., J. J. (1985). Respuesta a la sequía de cuatro especies de *Pinus* en estado de plántula. Tesis de Maestría en ciencias. Programa Forestal. Colegio de postgraduados. Montecillo, México. 94 p.

Vázquez C., I., J.A. Prieto R., M. A. López, L., C. Wehekel, P. A. Domínguez C. y F. E. Muñoz, S. (2018). Growth and survival of plantation of *Pinus greggii* Engelm. ex. Parl. Var. *greggii* under different fertilitation treatments. Revista Chapingo serie Ciencias Forestales y del Ambiente. 24(2). Recuperado de:

<https://revistas.chapingo.mx/forestales/phpscript/download.php?file=completo&id=Mzg4NQ==>

Vanclay J., K. (1995) Growth models for tropical forest: A synthesis of models and methods. Forest science 41: 7-42. Recuperado de:

[https://www.researchgate.net/publication/39730951\\_Growth\\_models\\_for\\_tropical\\_forests\\_A\\_synthesis\\_of\\_models\\_and\\_methods](https://www.researchgate.net/publication/39730951_Growth_models_for_tropical_forests_A_synthesis_of_models_and_methods)