

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO FORESTAL



Crecimiento e Incremento de *Pinus Teocote* Schlecht. & Cham.

En el Ejido la Trinidad, Montemorelos, Nuevo León.

Por:

ALAN ALEJANDRO LOYOLA RINCÓN

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO FORESTAL

Saltillo, Coahuila, México

Junio, 2024

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO FORESTAL

Crecimiento e Incremento de *Pinus Teocote* Schlecht. & Cham.
En el Ejido la Trinidad, Montemorelos, Nuevo León.

Por:

ALAN ALEJANDRO LOYOLA RINCÓN

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO FORESTAL

Aprobada por el Comité de Asesoría



Dr. Celestino Flores López

Asesor Principal



Dr. Eladio Heriberto Cornejo Oviedo

Coasesor



Dr. Jorge Méndez González

Coasesor



Dr. Alberto Sandoval Ríos

Coordinador de la División de Agronomía



Saltillo, Coahuila, México

Junio, 2024

DECLARACIÓN DE NO PLAGIO

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

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



Alan Alejandro Loyola Rincón
Matrícula: 41193434
Carrera: Ingeniero Forestal

En el presente estudio de tesis fue financiado por el Proyecto de Investigación de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro con clave 38-111-425103001-2175: Diversidad y estructura de bosques tropicales en el occidente y sureste de México. Proyecto a cargo del profesor investigador Dr. Celestino Flores López.

DEDICATORIA

Dedico mi investigación a mi madre **Araceli Rincón Rincón**, por el cariño enorme que me da en cada momento de dificultad, por siempre apoyarme en cada locura y por darme ese cariño sinigual, por sus consejos, sus enseñanzas y por su rica comida que cada inicio de semestre y término del semestre me preparaba mi platillo favorito (Pozole), muchas gracias Mama Te amo.

Dedico mi investigación a mi padre **Alejandro Loyola Hernández**, por su apoyo y su sacrificio, este logro no lo habría logrado sin ti y por enseñarme el ejemplo de perseverancia y tu sabiduría me han guiado en cada paso del camino, recordándome siempre el valor del trabajo duro y la dedicación.

A mis hermanos **Josué Loyola Rincón**, **Reyna Citlalli Loyola Rincón** y **Amairani Loyola Rincón**: cada uno de ustedes han dejado una huella imborrable en mi vida. Sus risas, sus abrazos y su aliento han sido mi fuerza en los momentos más difíciles y mi alegría en los momentos más felices.

A mis abuelos por su guía y su ejemplo de vida han dejado una marca indeleble en mi corazón y en mi mente. Sus historias, sus consejos y su presencia han enriquecido mi vida de innumerables maneras.

En cada logro que he alcanzado, ustedes han estado a mi lado celebrando mis triunfos y compartiendo mis desafíos. Su amor incondicional y su apoyo inquebrantable son un regalo que valoro más de lo que puedo expresar con palabras.

Este logro no solo es mío, sino también de ustedes. Gracias por creer en mí, por sacrificarse por mí y por ser la mejor familia que uno podría desear.

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a todas las personas que han contribuido de alguna manera a la realización de este trabajo de investigación.

A mi “*Alma Terra Mater*” la universidad autónoma agraria Antonio Narro, por darme la oportunidad de conocer a grandiosas amistades y grandiosos profesores, es un honor ser un BUITRE DE LA NARRO.

Agradezco profundamente a mi asesor de tesis, *Dr. Celestino Flores López*, por su orientación experta, su paciencia y su dedicación incansable. Sus valiosos consejos y su apoyo continuo fueron fundamentales para el desarrollo y la finalización de este proyecto.

De igual manera agradezco profundamente a mi coasesor de tesis, *Dr. Jorge Méndez González*, por su apoyo y su compromiso a lo largo de este proceso, sus comentarios críticos y sus sugerencias han sido un motor para el crecimiento y la mejora de este trabajo.

De igual manera agradezco profundamente a mi coasesor de tesis, *Dr. Eladio Cornejo Oviedo*, por su experiencia, orientación y dedicación han sido fundamentales para el desarrollo y la finalización de este proyecto.

Agradezco sinceramente a mis amigos al Team Dilan: Alondra Lizbeth Palacios Carrillo, Dilan Nieves Juárez, Johan Rafael Cruz, Luz Elena Soto Vargas y Natividad Carrizosa Velasco. Por el apoyo incondicional, por esas noches de desveladas, por esas risas y locuras que siempre hacíamos juntos, me encantó haber coincidido en esta gran universidad y más bonito a ver coincidir en una hermosa carrera de ser forestales. Los quiero muchos.

Agradezco a mis compañeros que he conocido durante mi transcurso de mi carrera: Alondra Yesenia Álvarez Palacios, Sergio Armando Bonilla Jiménez y Blanca Esthela Badillo Rodríguez. Por su compañerismo y sus comentarios fueron una fuente de motivación.

De igual manera agradezco a mis amigos Victorenses y Tierrablanquenses; A mi mejor amigo Ramón Ignacio Sánchez Chavero, Victoria Mariam Espínola Carranza, Alexis Iván Ramírez Vázquez, Itzel Guadalupe Aguirre López, Leonardo Pérez Reyes, Noé Enríquez García, Berenice Sánchez Lorenzo, Ricardo García Velázquez y Maricruz Hernández González. Por siempre estar cuando más los necesito, por el apoyo que me dan y su cariño, además de siempre tener algo que te saque una sonrisa.

Quiero reconocer el apoyo incondicional de la familia Rincón. A mis padres, a mis hermanos, a mis tíos, a mis primos y a mis abuelos por su ánimo y su apoyo en cada etapa de mi vida académica.

A todos ustedes, mi más sincero agradecimiento por su dedicación, su inspiración y su contribución a este logro. Este trabajo lleva su influencia y su impacto, y estoy profundamente agradecido por haber tenido la oportunidad de colaborar con personas tan excepcionales.

ÍNDICE DE CONTENIDO

	Página
ÍNDICE DE CUADROS	i
ÍNDICE DE FIGURAS	ii
RESUMEN	iii
ABSTRACT	v
1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Objetivo e hipótesis	4
Hipótesis	4
2. REVISIÓN DE LITERATURA	5
2.1 Crecimiento e incremento de árboles en coníferas.	5
2.2 Conceptos	5
2.2.1 El Incremento Corriente Anual (ICA).....	5
2.2.2 El Incremento Medio Anual (IMA)	5
2.2.3 Turno	6
2.3 Tipos de crecimiento en coníferas y desarrollo de anillos de crecimiento.	6
2.4 Diferenciación de anillos de crecimiento.	7
2.5 Procedimientos para determinación o análisis de crecimiento.	7
2.5.1 Curvas de crecimiento e incremento.	7
2.6 Modelos de crecimiento e incremento.....	8
2.7 Estudios de crecimiento e incremento.	9
2.7.1.- Altura	10
2.7.2.- Diámetro	12
2.7.3- Área basal.....	12
2.7.4- Volumen.....	13

2.8 Validación de modelos	13
2.8.1 Determinación del turno absoluto	14
3 MATERIALES Y MÉTODOS.....	15
3.1. Localización y descripción del área de estudio del área de estudio	15
3.1.1 Geología y edafología	16
3.1.2 Clima	16
3.1.3 Vegetación.....	16
3.2 Obtención de rodajas para análisis troncales	17
3.2.1 Elección de la muestra.....	17
3.2.2 Derribo y troceo de los árboles.	18
3.2.3 Análisis en laboratorio	18
3.3 Selección de modelos de crecimiento y validación.	20
3.4 Selección de modelos	21
3.5 Determinación del turno absoluto.....	22
4 RESULTADOS	23
4.1 Crecimiento en altura.....	23
4.1.1 Curva de crecimiento e incremento y turno absoluto en altura.....	25
4.2 Crecimiento en diámetro normal	26
4.2.1 Curva de crecimiento e incremento y turno absoluto en diámetro normal	27
4.3 Crecimiento área basal.....	30
4.3.1 Curva de crecimiento e incremento y turno absoluto en área basal.	31
4.4 Crecimiento en volumen.....	33
4.4.1 Curva de crecimiento e incremento y turno absoluto en volumen.	34
5 DISCUSIÓN	36
5.1 Crecimiento y turno absoluto en altura.....	36

5.2 Crecimiento y turno absoluto en diámetro normal	37
5.3 Crecimiento y turno absoluto en área basal.....	37
5.4 Crecimiento y turno absoluto en volumen.....	38
6 CONCLUSIONES.....	40
7 RECOMENDACIONES	41
8 LITERATURA CITADA.....	42

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Modelos para ajustar curvas de crecimiento e incremento de <i>Pinus teocote</i> Schl et Cham.....	9
Cuadro 2. Algunos estudios de crecimiento e incremento del género <i>Pinus</i> en México.....	10
Cuadro 3. Ubicación geográfica de los parajes en los que se seleccionaron los árboles para los análisis troncales de <i>Pinus teocote</i> Schlecht. & Cham., en el Ejido La Trinidad, Montemorelos, Nuevo León.	17
Cuadro 4. Modelos para estimar el crecimiento de <i>Pinus teocote</i> Schltld. Et Cham., en el Ejido La Trinidad, Montemorelos, Nuevo León.....	20
Cuadro 5. Cálculo del Incremento corriente anual (ICA) e Incremento medio anual (IMA).....	22
Cuadro 6. Rango, media, error estándar y coeficiente de variación de las variables dasométricas de los árboles utilizados para el análisis troncal de <i>Pinus teocote</i> Schlecht. & Cham., en el Ejido La Trinidad, Montemorelos, Nuevo León.	23
Cuadro 7. Cuadro. Modelos de crecimiento utilizados para la variable altura de <i>Pinus teocote</i> Schltld. et Cham de un aprovechamiento, en el Ejido La Trinidad, Montemorelos, Nuevo León.	24
Cuadro 8. Modelos de crecimiento utilizados para la variable diámetro de <i>Pinus teocote</i> Schltld. et Cham de un aprovechamiento, en el Ejido La Trinidad, Montemorelos, Nuevo León.	27
Cuadro 9. Modelos de crecimiento utilizados para la variable área basal de <i>Pinus teocote</i> Schltld. et Cham de un aprovechamiento, en el Ejido La Trinidad, Montemorelos, Nuevo León.	30
Cuadro 10. Modelos de crecimiento utilizados para la variable Volumen de <i>Pinus teocote</i> Schltld. et Cham de un aprovechamiento, en el Ejido La Trinidad, Montemorelos, Nuevo León.	33

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Localización de los rodales., en el Ejido La Trinidad, Montemorelos, Nuevo León.	15
Figura 2. Valores de dispersión de valores de altura con la edad y curva de ajuste del modelo Weibull (a), Curvas de Incremento Corriente Anual (ICA) e Incremento Medio Anual (IMA) de altura (b) de <i>Pinus Teocote</i> Schlecht. & Cham en el Ejido La Trinidad, Montemorelos, Nuevo León.....	26
Figura 3. Valores de dispersión de valores de diámetro con la edad y curva de ajuste del modelo Weibull (a), Curvas de Incremento Corriente Anual (ICA) e Incremento Medio Anual (IMA) de diámetro (b) de <i>Pinus Teocote</i> Schlecht. & Cham en el Ejido La Trinidad, Montemorelos, Nuevo León.....	29
Figura 4. Valores de dispersión de valores de área basal con la edad y curva de ajuste del modelo Gompertz (a), Curvas de Incremento Corriente Anual (ICA) e Incremento Medio Anual (IMA) de área basal (b) de <i>Pinus Teocote</i> Schlecht. & Cham en el Ejido La Trinidad, Montemorelos, Nuevo León.....	32
Figura 5. Valores de dispersión de valores de volumen con la edad y curva de ajuste del modelo Weibull (a), Curvas de Incremento Corriente Anual (ICA) e Incremento Medio Anual (IMA) de volumen (b) de <i>Pinus Teocote</i> Schlecht. & Cham en el Ejido La Trinidad, Montemorelos, Nuevo León.....	35

RESUMEN

Los análisis troncales, complementados con el uso de modelos de ajuste, son de vital importancia en el estudio del crecimiento de los árboles, el cual permiten representar de manera matemática la relación entre las medidas de crecimiento. El objetivo de la presente investigación fue determinar el crecimiento en altura, diámetro normal, área basal y volumen, así como el turno absoluto de *Pinus teocote* Schlecht. & Cham., en el Ejido La Trinidad, Montemorelos, Nuevo León. Los criterios de selección de los mejores modelos fueron el coeficiente de determinación (R^2), el coeficiente de determinación ajustado (R^2_{adj}), el cuadrado medio del error (CME) y raíz del error cuadrático (RMCE). Los modelos de ajuste seleccionados fueron los de Chapman-Richards, Schumacher, Weibull, Korf, Gompertz y Logístico el cual proporcionó resultados significativos para las variables de crecimiento del árbol. Específicamente, el modelo Weibull demostró ser adecuado para la altura, el diámetro normal y el volumen, mientras que el modelo de Gompertz fue utilizado para representar la relación en el área basal. Estos modelos exhibieron altos valores de R^2 y R^2_{adj} , lo cual respalda la calidad del ajuste de los modelos propuestos. Además, estos altos valores indican una relación altamente significativa entre las variables de crecimiento y los modelos seleccionados el cual modelo de Weibull mostró el mejor ajuste para edad-altura el cual mostro una $R^2 = 0.95272$, R^2 ajustado = 0.95223, edad-diámetro mostros una $R^2 = 0.94818$, R^2 ajustado = 0.94749), edad-volumen mostro una $R^2 = 0.8670$, R^2 ajustado = 0.8654 y el modelo de Gompertz fue el mejor para el edad-área basal el cual mostro $R^2 = 0.8743$, R^2 ajustado = 0.8725. Las curvas de crecimiento, representadas por estos modelos, mostraron patrones distintivos a lo largo del tiempo para cada una de las medidas de crecimiento estudiadas. Para la altura, el cual se observó un rápido incremento que alcanzaba un punto máximo a la edad de 8 años, seguido de una disminución gradual. En comparación, en el crecimiento en diámetro normal mostraba un rápido aumento en la de 5 y 9 años, seguido de una desaceleración y estabilización con el tiempo. Similarmente, el crecimiento en área basal exhibía un patrón de crecimiento inicial muy rápido a la de edad de 1 año y seguido de una disminución a medida que los árboles envejecían, mediante el volumen, se observó un crecimiento inicial máximo a la edad de un año de 0.030977972 m³ en el primer año, seguido por una rápida disminución, más pronunciada en el ICA. Hasta los 40 años, ambos indicadores decrecen, pero luego el ICA empieza a aumentar lentamente, mientras que el

IMA se estabiliza y sube gradualmente. En cual se presentó el turno absoluto a diferentes edades: la altura a los 14 años, el diámetro a los 14 años, el área basal a los 22 años y el volumen a los 45 años.

Palabras clave: Altura, área basal, diámetro, volumen, *Pinus*, ICA, IMA, turno absoluto, crecimiento, incremento y modelos.

ABSTRACT

Trunk analyses, complemented by the use of fitting models, are of vital importance in the study of tree growth, as they allow for a mathematical representation of the relationship between growth measurements. The objective of the present research was to determine the growth in height, normal diameter, basal area, and volume, as well as the absolute rotation age of *Pinus teocote* Schlecht. & Cham., in the Ejido La Trinidad, Montemorelos, Nuevo León. The criteria for selecting the best models were the coefficient of determination (R^2), adjusted coefficient of determination (R^2_{adj}), mean squared error (MSE), and root mean square error (RMSE). The selected fitting models were Chapman-Richards, Schumacher, Weibull, Korf, Gompertz, and Logistic, which provided significant results for the tree growth variables. Specifically, the Weibull model proved to be suitable for height, normal diameter, and volume, while the Gompertz model was used to represent the relationship in basal area. These models exhibited high values of R^2 and R^2_{adj} , which supports the quality of the proposed model fits. Additionally, these high values indicate a highly significant relationship between the growth variables and the selected models, with the Weibull model showing the best fit for age-height with an $R^2 = 0.95272$, adjusted $R^2 = 0.95223$, age-diameter with an $R^2 = 0.94818$, adjusted $R^2 = 0.94749$, age-volume with an $R^2 = 0.8670$, adjusted $R^2 = 0.8654$, and the Gompertz model being the best for age-basal area with an $R^2 = 0.8743$, adjusted $R^2 = 0.8725$. The growth curves, represented by these models, showed distinctive patterns over time for each of the growth measures studied. For height, a rapid increase was observed, reaching a maximum at the age of 8 years, followed by a gradual decline. In comparison, the growth in normal diameter showed a rapid increase between the ages of 5 and 9 years, followed by a deceleration and stabilization over time. Similarly, the growth in basal area exhibited a very rapid initial growth at the age of 1 year, followed by a decrease as the trees aged. For volume, an initial maximum growth was observed at the age of one year with 0.030977972 m^3 in the first year, followed by a rapid decrease, more pronounced in the CAI. Up to 40 years, both indicators decreased, but then the CAI began to increase slowly, while the MAI stabilized and gradually rose. The absolute rotation age was presented at different ages: height at 14 years, diameter at 14 years, basal area at 22 years, and volume at 45 years.

Keywords: Height, basal area, diameter, volume, *Pinus*, CAI, MAI, absolute rotation, growth, increment, models.

1 INTRODUCCIÓN

México cuenta con una alta variedad del género *Pinus* el cual desempeñan un papel fundamental, tanto desde el punto de vista ecológico como económico, en cual existen 72 especies de pinos, pero hay algo que sí es evidente, México es el país con mayor centro de diversidad mundial de géneros *Pinus* (Perry, 1991).

El género *Pinus* se distribuyen en diferentes regiones de México, desde los bosques templados de la Sierra Madre Occidental y la Sierra Madre Oriental, hasta los bosques de pino-encino en el altiplano central y las zonas montañosas del sureste mexicano, y señalar que se han encontrado especies a nivel del mar en la parte tropical donde encontramos *Pinus caribaeae var hondurensis* en Quintana roo (Jesús, 2021). Dentro de esta gran área que abarca el género *Pinus* cuenta una gran importancia debido a la demanda de recursos maderables y no maderables, los cuales tienen un significativo potencial económico para el país. Tiene una producción de resina natural que rebasa las 33,000 toneladas anuales, el cual tiene las especies más productivas: *P. leiophylla*, *P. lawsonii*, *P. pringlei*, *P. teocote*, *P. devoniana* y *P. oocarpa*, todas ellas de carácter subtropical (Garduño *et al.*, 2009).

Cada árbol produce de uno a cuatro kilogramos de resina al año y la cosecha por árbol es más abundante, aunque el clima es más cálido y el bosque más abierto, el cual también cuenta con un gran valor económico para el aprovechamiento con fines maderables, ya que el bosque de pino cuenta con una presencia de 80808 ha en el cual se encuentran especies de alto valor económico, las cuales son: *Pinus douglassiana*, *P. michoacana*, *P. montezumae*, *P. pseudostrobus* y *P. teocote*. Se localiza principalmente en las regiones montañosas del estado (Garduño *et al.*, 2009).

Es importante recalcar que la especie de *Pinus teocote* Schlecht. & Cham conocido localmente como: Ocote, pino colorado, pino rosillo, pino real, el cual tiene una amplia distribución, más abundante en la región central de México, rara y muy dispersa en la Sierra Madre Occidental en donde se encuentra en una altitud entre 1000 y 3300 msnm (De la rosa Brian *et al.*, 1997). La especie está adaptada a los climas subhúmedos a húmedos, sitios que reciben precipitación anual de 1 000 a 1 500 mm (Alba-Landa *et al.*, 2011). El *Pinus teocote* figura como una preocupación menor, ya que ha sido evaluada en la lista roja de especies amenazadas de la UICN en 2011 (Farjon, 2013).

El concepto de turno se define como el período de tiempo desde la creación de un bosque o plantación hasta el momento de su uso, en pocas palabras, este es el mejor momento para utilizar una planta o un grupo de plantas y asimismo, el turno marca el momento en el cual el Incremento Corriente Anual (ICA) y el Incremento Medio Anual (IMA) se cruzan, el cual indica la edad en la que se observa una reducción en la tasa de crecimiento de las especies y el momento en el cual se hace necesario implementar algún tipo de tratamiento silvícola el cual la duración del turno técnico varía basándose en la calidad del terreno y de los objetivos específicos del manejo forestal, como mencionan (Martínez-Pastur *et al.*, 2004). Basándose en el propósito de la plantación, en la literatura se pueden distinguir diferentes tipos de turnos como es el turno óptimo, turno absoluto, turno técnico, turno silvícola, turno financiero (Ayala *et al.*, 2012).

Así mismo el estudio este centrado en analizar el crecimiento e incremento y establecer el turno absoluto el cual se define como la edad en la que la masa forestal alcanza su máxima producción de madera, caracterizada por la igualdad entre el Incremento Corriente Anual (ICA) e Incremento Medio Anual (IMA), el cual este representa como el periodo óptimo de crecimiento (Moreno, 2022).

El crecimiento, entendido como el desarrollo integral de un árbol o masa, se manifiesta en sus dimensiones, tales como altura, diámetro y volumen, el incremento, que constituye el aumento de estas dimensiones en un período específico, se desglosa en incremento del árbol en altura, diámetro y volumen, en calidad del incremento corriente anual la manifestación anual de este fenómeno y se distingue también entre el incremento, del periodo total, periodo anual y medio anual, cada uno proporciona una perspectivas temporales y cuantitativas distintas (Klepac, 1983).

Las curvas polimórficas son de dos tipos: intersecciones y sin intersecciones, las cuales indican que la proporción que guarda la altura es diferente entre curvas, por ende, estas llegan aparentar diferente forma, mientras que las anamórficas son caracterizadas por guardar la misma proporción en diferentes edades en referencia a la altura (Torres, 2001).

El proceso de inventario forestal comienza con la cartografía detallada del área de manejo forestal, que incluye la clasificación de las superficies, en las áreas destinadas a la producción forestal, se recolectan datos de campo para medir los volúmenes de madera por especie o grupo de especies, conforme a las directrices establecidas por la NOM-152-

SEMARNAT-2023 (DOF - Diario Oficial de la Federación, 2023). Y las preferencias del productor también se recopilan datos para evaluar los niveles de productividad, generalmente a través del índice de sitio, y para calcular el crecimiento, si es necesario para análisis posteriores y estos datos básicos proporcionan información sobre la estructura del bosque, la diversidad arbórea, la dominancia y otros aspectos relevantes para la producción forestal (Ramírez, 2017).

En el Ejido La Trinidad, en Nuevo León, se caracteriza por su actividad forestal maderable, el cual es el único que ha obtenido un permiso de aprovechamiento comercial, el ejido la Trinidad presenta cifras importantes en lo que respecta al volumen aprovechable, con datos desde 1996 hasta 2005, lo que demuestra la relevancia de su contribución en la producción maderable de la región, con una superficie total de 12,866 hectáreas, las actividades forestales abarcan un rango significativo, en 1996 se inició la explotación forestal en el aprovechamiento forestal en una superficie de 1,983 hectáreas, con un volumen de pino de 41,332 m³ y un volumen de encino de 17,553 m³, en 1999, se autorizó el ajuste y la unificación de los programas de aprovechamiento forestal maderable en una superficie de 2,073 hectáreas, con un volumen total de 42,255 m³ y considerar que el manejo sustentable de estos recursos es importante, especialmente después de eventos como los incendios forestales de 1998, donde se recomendó la restauración y conservación ecológica para regenerar la vegetación el cual además, también se realizan actividades de aprovechamiento no maderable como recolección de paixtle (*Tillandsia* sp.) y plantas medicinales para generar ingresos a las familias locales, así como limpieza de áreas afectadas por plantas parásitas (CONANP, 2006).

1.1 Objetivo e hipótesis

Objetivo general

Determinar el crecimiento en altura, diámetro normal, área basal y volumen, así como el turno absoluto de *Pinus teocote* Schlecht. & Cham., en el Ejido La Trinidad, Montemorelos, Nuevo León.

Objetivos específicos

Seleccionar los mejores modelos para las relaciones edad-altura, edad-diámetro normal, edad-área basal y edad-volumen con base en los más altos valores de los coeficientes de determinación (R^2) y ajustado (R^2 ajustado), así como con los más bajos valores del cuadrado medio del error (CME) y de la raíz cuadrada del cuadrado medio del error (\sqrt{CME}).

Describir el crecimiento en altura, diámetro normal, área basal y volumen de *Pinus teocote* Schlecht. & Cham., en el Ejido La Trinidad, Montemorelos, Nuevo León.

Determinar el turno absoluto para la altura, el diámetro normal, el área basal y el volumen de *Pinus teocote* Schlecht. & Cham., en el Ejido La Trinidad, Montemorelos, Nuevo León.

Hipótesis

Ho: Los modelos no lineales seleccionados para mejor ajuste entre la relación edad con altura, diámetro normal, área basal y volumen no son confiables en un 95%.

Ha: Los modelos no lineales seleccionados para mejor ajuste entre la relación edad con altura, diámetro normal, área basal y volumen son confiables en un 95%.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Crecimiento e incremento de árboles en coníferas.

El crecimiento de los árboles se define como la alteración positiva en la magnitud de cualquier característica mensurable, como el diámetro, el área basimétrica, la altura, el volumen o la biomasa, a lo largo del tiempo, este fenómeno refleja el incremento de tejidos como el floema, xilema, tallo y parénquima, al ser el resultado de la combinación de procesos biológicos como la división celular, el alongamiento del meristemo primario y el engrosamiento de las células del meristemo secundario y en consecuencia, el crecimiento de los árboles se caracteriza por la modificación simultánea de diversas variables dendrométricos, influyendo en el diámetro, la altura, el área basimétrica, la forma del tronco y el volumen (Monárrez-González *et al.*, 2003).

2.2 Conceptos

2.2.1 El Incremento Corriente Anual (ICA)

Se refiere al crecimiento experimentado por un árbol durante la estación de crecimiento de 12 meses o entre dos años consecutivos, también conocido como crecimiento acumulado o simplemente incremento anual (IA), representa la diferencia entre las medidas tomadas al final y al principio de un año específico, el cual revela así el crecimiento anual del árbol (Lara, 2015).

2.2.2 El Incremento Medio Anual (IMA)

Se define como el valor que expresa la medida del crecimiento total alcanzado por un árbol a una edad determinada y este indicador representa la media anual del crecimiento para cualquier edad, calculándose mediante la división del tamaño total acumulado por la edad del árbol (Lara, 2015).

2.2.3 Turno

Se define como el espacio de tiempo que transcurre desde la creación de un bosque o una plantación hasta su aprovechamiento; en otras palabras, se refiere al momento óptimo en que debe ser aprovechado el árbol o el conjunto de árboles y en el cual podemos encontrar los siguientes tipos de turno: Turno técnico forestal: Si se considera obtener un solo producto de las plantaciones, se le llama turno técnico, Esto implica terminar el ciclo de cultivo en el momento en el que los árboles alcanzan el máximo incremento medio potencial posible, el cual se considera la técnica silvícola utilizada y la combinación de sitio y especies que se manejan. Turno silvícola: Es una variante del turno técnico que únicamente aplica en bosques coetáneos (tienen de forma aproximada la misma edad), se pospone la corta final hasta que los árboles se encuentren en condiciones de reproducirse. Turno financiero: Es otra variante del turno técnico, se refiere al volumen de productos de cosecha medido en valor económico, y de acuerdo con el objetivo que se desea aprovechar los diferentes tipos de turnos (Ayala *et al.*, 2012).

2.3 Tipos de crecimiento en coníferas y desarrollo de anillos de crecimiento.

El crecimiento es definido por Klepac, (1983) y Prodan, (1997), como el cambio gradual para su respectivo desarrollo del árbol en diámetro, altura, área basal y volumen, el cual el crecimiento se manifiesta en varias fases como:

Crecimiento primario es el desarrollo de las primeras células y se manifiestan en el meristemo terminal y al crecimiento en los meristemos laterales se le llama crecimiento secundario.

El crecimiento anual corriente: Es el incremento de un elemento dentro de un año.

El crecimiento periódico: Es el incremento o crecimiento acumulado durante un período de varios años. El crecimiento anual corriente equivale al crecimiento periódico para un período de 1 año. En la determinación práctica del crecimiento no se mide el crecimiento en forma anual, sino que, debido a los grandes errores relativos, este se obtiene del crecimiento periódico dividiéndolo por los años del período. Por esta forma de determinación también se elimina parcialmente el efecto de fluctuaciones temporales.

El desarrollo de los anillos de crecimiento producido por el xilema el cual se basa en el crecimiento del árbol, el cual crecen a anillos cada año, como si fueran capas, donde la

capa más externa del tronco es la del año actual y la capa interna es la formación de su primer año, las cuales representan cada temporada de crecimiento como partes más oscuras y otras con partes más claras, el cual tiene una gran importancia en la dendrocronología, ya que aportan mucha información sobre las condiciones en las que han vivido los árboles en cada momento, en estos registros se puede observar los grosores de los anillos donde se pueden interpretar sus condiciones como los años lluviosos y los años más secos (Casado, 2019). La cual se determina de la edad de un árbol, se lleva a cabo mediante el conteo de los anillos de crecimiento en la sección de apeo o tocón y convencionalmente, se considera que el número de anillos de crecimiento en una sección transversal refleja la edad de esa parte específica del árbol el cual si el árbol logra alcanzar el nivel del tocón en su primer año de crecimiento en altura, y la sección de la planta a esa edad se encuentra centrada en la sección transversal, los anillos de crecimiento del tocón ofrecen una representación precisa de la edad total del árbol (Klepac, 1983).

2.4 Diferenciación de anillos de crecimiento.

Los anillos de crecimiento se pueden diferenciar mediante el ancho de los anillos donde son más anchos en la parte superior del fuste inmediatamente debajo de las primeras ramas y más abajo el ancho de los anillos decrece, además en la formación de la madera temprana y tardía; donde los anillos son más marcados por un número de líneas de células de fibra o traqueidas, con reducción de su diámetro radial y paredes gruesas en la madera temprana y en la madera tardía aparecen como una banda de color oscuro y marcan el fin de la estación de crecimiento, en el cual se pueden encontrar los llamados anillos falsos estos ocurren en el segundo periodo de floración en uno de crecimiento o después de la defoliación completa este puede ocurrir que se produzca un crecimiento discontinuo durante el verano, el cual vuelve a ser activo al final del mismo lapso de crecimiento en un otoño templado (Klepac, 1983; Brienen, 2003).

2.5 Procedimientos para determinación o análisis de crecimiento.

2.5.1 Curvas de crecimiento e incremento.

Las curvas de crecimiento son una representación gráfica del cambio en medidas como la altura, el diámetro y el volumen de un árbol a lo largo del tiempo, a menudo tiene

una forma de "S", pero su punto de inflexión, donde el crecimiento alcanza su máximo, ocurre más tarde que en las curvas de altura y diámetro en cual la curva de crecimiento en volumen es característica de que su declive no es tan acelerado como el de las curvas de altura y diámetro a medida que el árbol envejece, el crecimiento anual en diámetro tiende a disminuir gradualmente, lo que resulta en anillos de crecimiento más estrechos (Klepac, 1983).

Las curvas de incremento, son utilizadas para analizar el crecimiento arbóreo, revelan la evolución de dimensiones como altura, diámetro y volumen a lo largo del tiempo. Aunque se opta por una aproximación uniforme al operar con estas curvas, es crucial reconocer su falta de simetría, con posibles culminaciones dobles en altura y diámetro y en cuanto al incremento en volumen, este suele alcanzar su punto máximo después de las culminaciones en altura, diámetro y área basal es una característica distintiva es que el incremento en volumen no decrece tan rápidamente como en altura y diámetro, ya que el aumento en diámetro influye cuadráticamente en el volumen, con la edad, a pesar de la disminución gradual en el incremento anual en diámetro, el incremento en volumen persiste más tiempo a niveles sostenidos, el cual empieza a disminuir con los anillos de crecimiento se estrechan considerablemente, esta complejidad destaca la necesidad de considerar diversas variables para comprender integralmente las dinámicas del crecimiento arbóreo y planificar estrategias de manejo forestal sostenible (Klepac, 1983).

2.6 Modelos de crecimiento e incremento.

Los modelos de crecimiento e incremento son modelos teóricos que predicen el crecimiento y el incremento de las dimensiones de los árboles de especies maderables comerciales y estos modelos son la base científica para planificar estrategias de manejo silvícola y realizar aprovechamientos sostenibles en el tiempo (Tamarit-Urías *et al.*, 2022).

Un modelo es una forma de caracterizar un sistema o parte de un sistema el cual es una abstracción y simplificación de un proceso natural que permite su estudio y análisis, los modelos de crecimiento y rendimiento han experimentado una gran evolución desde que PAULSEN, en el siglo XVIII, elaborara las primeras tablas de rendimiento con ajuste gráfico además el modelo puede estar constituido por uno o varios gráficos, una o múltiples ecuaciones, uno o más subsistemas y antes del advenimiento de la computación, los investigadores tuvieron serias limitaciones para la formulación de modelos complejos, por lo

que tuvieron que simplificarlos al máximo de forma de producir herramientas de utilidad práctica (Prodan, 1997). En el cual se pueden encontrar los modelos que mejor se han ajustado en varios estudios realizados en México principalmente para la especie de *Pinus teocote* se muestran las ecuaciones de dichos modelos en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Modelos para ajustar curvas de crecimiento e incremento de *Pinus teocote* Schl et Cham

Modelo	Expresión	Especie	Cita
Logístico	$Y = \frac{a}{d+e^{b-cX}}$	<i>Pinus greggii</i> var. <i>Greggii</i>	(Ángeles, 2022).
Gompertz	$Y = ae^{-be^{cX}}$	<i>Pinus teocote</i> Schl et Cham	(Antuna, 2001).
		<i>Pinus teocote</i> Schl et Cham.	(Antuna, 2001).
Chapman-Richards	$Y = a[1 - e^{-bX}]^c$	<i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl.	(González-Méndez <i>et al.</i> , 2016)
		<i>Pinus ayacahuite</i> Ehren.	(Hernández-Cuevas <i>et al.</i> , 2018)
		<i>Pinus estevezii</i> (Mtz) Perry	(Gonzales Zárate, 2000).
Schumacher	$Y = ae^{-b*(\frac{1}{X})}$	<i>Pinus johannis</i> M. -F. Robert	(Salmerón Bravo, 2015).
Korf	$Y = ae^{b(X*c)}$	<i>Pinus teocote</i> Schl et Cham	(Antuna, 2001).
Weibull	$Y = a[1 - e^{-bX^c}]$	<i>Pinus teocote</i> Schldl. et Cham. y <i>Pinus oocarpa</i> Schiede.	(Ríos-Camey <i>et al.</i> , 2021)

2.7 Estudios de crecimiento e incremento.

La investigación sobre el crecimiento e incremento de diversas especies de *Pinus* ha sido ampliamente abordada en varios artículos científicos y tesis académicas. Estos estudios se han llevado a cabo en diferentes regiones de la República Mexicana (Cuadro 2).

Entre las especies estudiadas se encuentran el *Pinus teocote*, *Pinus ayacahuite*, *Pinus pseudostrobus*, *Pinus oocarpa* y *Pinus montezumae*, entre otras. Estas investigaciones no solo han contribuido al conocimiento sobre el crecimiento y desarrollo de estas especies de

pino, sino que también han proporcionado información valiosa para la gestión forestal y la conservación de los recursos naturales en México (Cuadro 2).

Cuadro 2. Algunos estudios de crecimiento e incremento del género *Pinus* en México.

Especies	Lugar	Descripción del estudio	Autor
<i>Pinus teocote</i> Schl et Cham	Sureste de Coahuila y Sur de Nuevo León.	Se realizó para estimar el crecimiento e incremento de la regeneración natural.	(Antuna, 2001).
<i>Pinus Teocote</i> Schldl. & Cham Y <i>Pinus oocarpa</i> Schiede	Guerrero, México.	Se realizó para estimar el crecimiento e incremento en biomasa y carbono.	(Lara, 2015).
<i>Pinus ayacahuite</i> Ehren	Ixtlán de Juárez, Oaxaca, México.	Se realizó para los modelos de crecimiento en altura dominante e índices de sitio.	(Hernández-Cuevas <i>et al.</i> , 2018)
<i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl.	Ejido El Balcón, Guerrero, México.	Modelo de crecimiento en altura dominante	(González - Méndez <i>et al.</i> , 2016)
<i>Pinus teocote</i> Schldl. et Cham. Y <i>Pinus oocarpa</i> Schiede	Guerrero, México	Crecimiento e incremento en biomasa y carbono.	(Ríos-Camey <i>et al.</i> , 2021)
<i>Pinus montezumae</i> Lamb. Y <i>Pinus teocote</i> Schiede ex Schldl	Nanacamilpa, Tlaxcala	Modelos locales altura-diámetro.	(Guerra-De la Cruz <i>et al.</i> , 2019)

2.7.1.- Altura

Los árboles incrementan tanto su altura como su grosor debido a la actividad de tejidos especializados en crecimiento, conocidos como meristemas el cual el incremento en

la altura se asocia al crecimiento primario, impulsado por el meristemo apical y por otro lado, el aumento en el grosor se relaciona con el crecimiento secundario, que es estimulado por los meristemas laterales y factores tanto genéticos como ambientales influyen en la altura alcanzada por el árbol, existen diversas restricciones al crecimiento, que pueden incluir desde la falta de nutrientes en el suelo, periodos de sequía extendidos, insuficiencia lumínica, daños en las ramas debido a vientos fuertes, afectaciones por rayos, hasta trastornos provocados por enfermedades de origen fúngico, bacteriano o viral, además de la poda selectiva practicada por seres humanos (Aguilar Sandí, 2019).

El incremento en altura se manifiesta en la primavera, generalmente, comienza con una gran intensidad, que dura de 2 a 3 semanas, posteriormente decrece gradualmente y en algunas especies se interrumpe, mientras que en otras se presenta sin esa interrupción hasta septiembre u octubre y la duración del aumento en altura puede ser menor debido a un verano seco y frío, pero puede alargarse con un verano húmedo y caluroso, lo que hace posible la formación de brotes, los cuales en algunas especies pueden ser mayores que los brotes de primavera y la variación en el incremento en altura en árboles individuales se debe probablemente a su diferente reacción al fotoperíodo (Klepac, 1983).

El crecimiento en altura de los árboles se atribuye a la actividad de la yema apical o terminal, impulsada por la división celular, también conocida como crecimiento primario, la altura del árbol, experimenta modificaciones notables, especialmente durante la etapa juvenil, donde se observa un rápido cambio en períodos cortos, la evaluación del crecimiento en altura se realiza midiendo las alturas al inicio y al final de intervalos de tiempo definidos, y en algunos casos, se analiza el tronco para determinar valores e índices correspondientes, en árboles tropicales, registros bibliográficos indican un crecimiento en altura de hasta 1 metro por cada centímetro de DAP (Diámetro a la Altura del Pecho) durante la etapa juvenil, sin embargo, los árboles superan los 40 a 50 cm de DAP, el incremento en altura disminuye a aproximadamente 0.5 m por cada cm de DAP, el cual es la transición a la fase madura de crecimiento, en árboles adultos, el crecimiento en altura tiende a estabilizarse, mientras el DAP continúa creciendo, la relación entre las variables altura y DAP es crucial para predecir la clasificación diamétrica en planes de ordenación forestal (José-Imaña, 2008).

2.7.2.- Diámetro

El incremento anual en diámetro se puede decir que depende también de la cantidad de reservas materiales acumuladas por el árbol durante el año, pero el crecimiento e incremento en diámetro del árbol depende más del medio ambiente que el crecimiento e incremento en altura; dentro de ciertos límites el incremento en diámetro es mayor al momento que hay más espacio, lo mismo sucede con la luz, los expertos a menudo hablan del incremento condicionado por el espacio libre (Klepac, 1983).

El crecimiento en diámetro se refiere al aumento del diámetro de un árbol en un período determinado, conocido como crecimiento secundario, generalmente, el crecimiento en altura precede al crecimiento en diámetro, este proceso está influenciado por la distribución espacial del árbol y los mismos factores que afectan el crecimiento en altura, el crecimiento en diámetro está directamente vinculado a la actividad del cambium, por esta razón, se puede registrar diariamente o en intervalos más cortos, como desde la salida hasta la puesta del sol, o en lapsos más prolongados, como semanas, meses y años, en el contexto de la ordenación forestal, las mediciones suelen realizarse anualmente o en intervalos de tres a cinco años (José-Imaña, 2008).

2.7.3- Área basal

El área basal de un árbol se refiere típicamente al área de la sección transversal de un solo árbol medida a una altura estándar, generalmente a 4 pies (cerca de 1.2 metros) sobre el suelo. Esta medida se utiliza para estimar el tamaño y la productividad del árbol y se expresa comúnmente en pies cuadrados o metros cuadrados, el diámetro del tronco de un árbol, medido a esta altura, se conoce como el diámetro a la altura del pecho (DAP), y se utiliza como base para calcular el área basal, el cual por otro lado, el área basal también puede referirse al área total de la sección transversal de todos los tallos de una especie o de un área de bosque, medida a la altura del pecho y expresada como una unidad de superficie terrestre y esta medida proporciona una indicación del espacio que ocupan los árboles y su densidad en un área determinada de bosque, es especialmente útil para fines de inventario forestal y gestión de recursos naturales, ya que ayuda a estimar la cantidad de madera y la productividad del bosque (Elledge *et al.*, 2018).

2.7.4- Volumen.

El aumento total en volumen de un árbol no se limita únicamente a la parte leñosa, sino que incluye elementos como el follaje (agujas), frutos, sistema radicular, entre otros, además, una parte significativa de este aumento se pierde debido a la transpiración, en términos generales, el incremento total en volumen del árbol puede dividirse en tres partes principales: la primera se relaciona con la madera propiamente dicha; la segunda incluye el follaje, semillas y frutos; y la tercera abarca la porción que se pierde a través de la transpiración, para facilitar la comparación del aumento anual total con estas partes, se hace referencia a la materia seca, medida a una temperatura de 103-105°C (Klepac, 1983).

El crecimiento en volumen de un árbol se define como el incremento en su volumen durante un período específico, al igual que en las situaciones anteriores, se evalúa mediante el cálculo de la diferencia entre los volúmenes que poseía el árbol al inicio y al final del periodo considerado, este enfoque cuantitativo proporciona una medida precisa del cambio tridimensional en el tamaño del árbol, lo que permite un análisis detallado de su desarrollo a lo largo del tiempo (José-Imaña, 2008).

2.8 Validación de modelos.

La validación de modelos es un proceso crucial en la investigación forestal para evaluar la idoneidad y la precisión de diferentes modelos en la estimación del crecimiento e incremento de especies de pinos en distintas condiciones y localidades. En este estudio, se evaluaron seis modelos: el modelo logístico, Gompertz, Chapman-Richards, Schumacher, Korf y Weibull.

Ángeles (2022) utilizó el modelo logístico donde se aplicó para estimar el crecimiento e incremento de *Pinus greggii* var. *greggii* en plantaciones forestales comerciales en Durango en la subcuenca de Santiaguillo, muestra un buen ajuste para la relación edad-área basal y también para la variable edad-volumen.

Antuna (2001) aplicó el mismo modelo para estudiar el crecimiento e incremento de la regeneración natural de *Pinus teocote* Schl et Cham en la Sierra Madre Oriental, en el sur del estado de Nuevo León y el sureste del estado de Coahuila. Los resultados también mostraron un ajuste adecuado para la relación edad-altura, edad-diámetro y para el

crecimiento e incremento en volumen, tanto en plantaciones forestales comerciales como en regeneración natural de *Pinus teocote*.

El modelo Chapman-Richards se destacó para estimar el Crecimiento e Incremento en Regeneración de *Pinus estevezii* (Mtz) al Sur de Nuevo León. Donde el modelo se ajustó mejor para edad–altura (Zarate, 2000), así también para el crecimiento en altura dominante de *Pinus pseudostrobus* en Guerrero (González-Méndez *et al.*, 2016).

Por otro lado, el modelo Schumacher mostró un buen ajuste para la estimación del crecimiento e incremento donde el modelo se ajustó para área basal y volumen de *Pinus estevezii* en Nuevo León (Zarate, 2000) de igual manera para Salmerón Bravo (2015) el modelo Schumacher resultó ser el mejor para las variables de altura, diámetro basal y diámetro de copa en de *Pinus johannis* en el Noreste de México.

El modelo Korf se aplicó con éxito en la estimación del crecimiento e incremento en área basal de la regeneración natural de *Pinus teocote* (Antuna, 2001).

Lara (2015) el modelo Weibull demostró ser altamente efectivo en la estimación del crecimiento e incremento en biomasa y carbono de *Pinus teocote* y *Pinus oocarpa* en Guerrero, México, proporciona los mejores estadísticos para estas estimaciones.

2.8.1 Determinación del turno absoluto

Se define como la edad en la que se alcanza la máxima producción media anual en volumen por hectárea en un bosque, sin tener en cuenta la calidad de los productos generados, es el punto en el que las curvas que representan el Incremento Corriente Anual (ICA) y el Incremento Medio Anual (IMA) se interceptan, esencialmente, el turno absoluto marca el momento en el ciclo de crecimiento del bosque en el que se registra el máximo crecimiento anual promedio y, por lo tanto, la máxima producción volumétrica por unidad de área (Wehenkel *et al.*, 2024).

3 MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Localización y descripción del área de estudio del área de estudio

El área de estudio se encuentra en el Ejido la Trinidad, Montemorelos, Nuevo León, en los parajes: Laborcitas, Playitas, Las Pilitas, Las Mesas y El Puerto. Esta región, ubicada entre los paralelos 25° 23' 03" y 25° 11' 30" de latitud Norte y 100° 09' 19" y 100° 06' 56" de longitud Oeste, se enmarca en la impresionante Sierra La Cebolla, caracterizada por su biodiversidad y belleza natural (Figura 1). Con altitudes que oscilan entre 1530 y 2030 metros sobre el nivel del mar, esta área ofrece un entorno ideal para el estudio del crecimiento forestal y la dinámica de los ecosistemas.

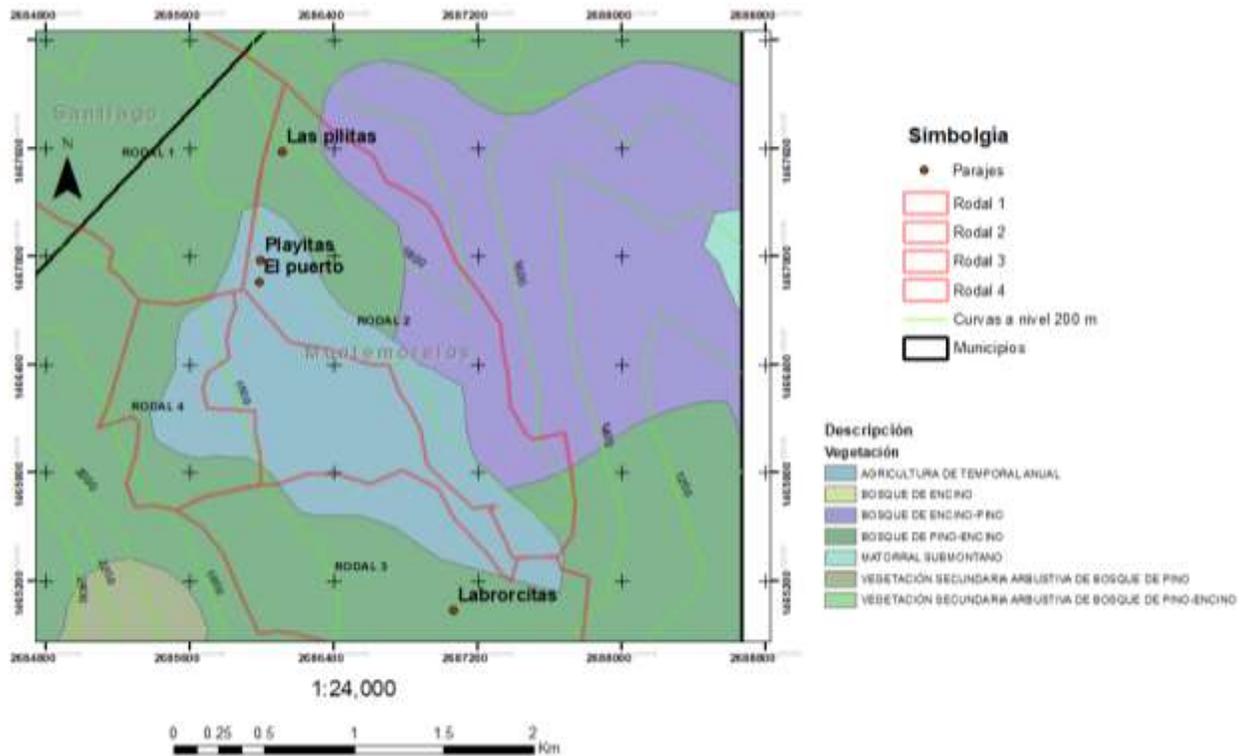


Figura 1. Localización de los rodales., en el Ejido La Trinidad, Montemorelos, Nuevo León.

3.1.1 Geología y edafología

La geología de la región revela una compleja historia geológica, con la presencia de rocas sedimentarias que incluyen conglomerados, lutitas, areniscas y calizas, estos sustratos geológicos influyen directamente en las características de los suelos locales; los suelos predominantes son luvisoles crómicos y regosoles calcáreos, con una variada textura que va desde media hasta fina, lo que proporciona un sustrato diverso y fértil para la vegetación (CETENAL, 1977).

Litosoles: se encuentran casi en la totalidad del parque, específicamente en el cañón el Diente, arroyo los Soldados, Sierra Potreritos, Sierra San Juan Bautista, Sierra San Cristóbal, noreste de San Antonio de los Garza, Cerro Escorpión, Laguna de Sánchez y La Trinidad (CETENAL, 1977).

Regosol Calcárico: esta unidad se localiza entre los niveles de los 400 y los 600 msnm, en terrenos de topografía plana u ondulada, por otro lado, en los confines de la sierra se distribuyen entre los 2,300 y 2,700 msnm, encontrándose al norte de La Trinidad y hacia el sur, desde el cañón Mireles hasta La Florida (CETENAL, 1977).

Luvisoles: se presentan en El Tejocote, Puerto La Tecolota, en varias secciones al suroeste de las sierras San Cristóbal y Potreritos; al suroeste de Las Raíces, en el perímetro de La Trinidad y en el punto 25°15' Latitud Norte y 100°12'30" Longitud Oeste, en combinación con Acrisol (CONANP, 2006).

3.1.2 Clima

El clima en el área de estudio se clasifica como BSohw (e), lo que indica un clima seco, semicálido y extremoso, con inviernos frescos y veranos lluviosos, la temperatura media anual es de 20.6 °C, y la precipitación media anual alcanza los 332.6 mm, estas condiciones climáticas únicas desempeñan un papel crucial en la distribución y la dinámica de la vegetación en la región (Amaro, 1987).

3.1.3 Vegetación

La vegetación en el área de estudio es excepcionalmente diversa y está dominada por bosques de pino y encino, que ofrecen un hábitat vital para una variedad de especies vegetales

y animales donde además de los bosques, se encuentran matorrales inermes, chaparrales, pastizales inducidos y naturales, que contribuyen a la riqueza biológica de la zona, esta variedad de ecosistemas proporciona un escenario fascinante para investigar la interacción entre la vegetación, el clima y el suelo en el contexto del cambio ambiental global (DETENAL, 1977).

3.2 Obtención de rodajas para análisis troncales

3.2.1 Elección de la muestra

Se eligieron árboles de altura dominante, codominante e intermedia mediante la clasificación silvícola. La selección se realizó con base en la clasificación de Kraft. En su caso, se concentraron los datos de frecuencia por categoría diamétrica para determinar la categoría diamétrica de estos árboles, eligieron así los árboles que fueron representativos de la clase diamétrica correspondiente.

Antes de realizar el derribo de los árboles seleccionados se georreferenciaron la ubicación de los parajes donde se obtuvieron las muestras (Cuadro 3).

Cuadro 3. Ubicación geográfica de los parajes en los que se seleccionaron los árboles para los análisis troncales de *Pinus teocote* Schlecht. & Cham., en el Ejido La Trinidad, Montemorelos, Nuevo León.

Parajes	Latitud (Norte)	Longitud (Oeste)
La Brorcitas	25° 13' 11.09"	100° 8' 3.09"
Playitas	25° 14' 14.92"	100° 14' 14.92"
Las Pilitas	25° 14' 31"	100° 09' 19"
Las Mesas	25° 13' 22.8"	100° 08' 4.7"
El Puerto	25° 14' 11"	100° 08' 41"

3.2.2 Derribo y troceo de los árboles.

Se derribaron 36 árboles el cual se conformó una brigada equipada con dos motosierras (Husqvarna), una para realizar el derribo direccional y la segunda para realizar el desrame del árbol. El troceo se inició a partir del tocón a una altura promedio de 30 cm. Luego, se realizaron los cortes de las rodajas a longitudes comerciales de 8 pies de largo (2.54 m), varia dicha longitud según la deformidad de los árboles. Las puntas se cortaron a longitudes más cortas, que iban de 1.25 m hacia abajo, de acuerdo con el grosor que presentó la troza o el tallo. A cada troza y longitud de corte se le agregaron de 4 a 6 cm de refuerzo, que se eliminó al secar y aserrar la madera. Además, a la longitud se le agregó el grosor de la rodaja, que fue en promedio 5 cm. Al obtener las rodajas, se marcó la parte de abajo con una cruz para identificar la altura exacta a la que fue cortada y evaluada. También se anotaron en la parte de arriba los datos del árbol, como el número del árbol y el número de rodaja. Para la identificación de la especie, se colectó una muestra botánica con presencia de conos para asegurarse de que la especie fuera la correcta.

3.2.3 Análisis en laboratorio

Las rodajas se secaron al aire libre durante aproximadamente tres meses. Una vez secas, se lijaron con una máquina lijadora industrial de banda, marca TRUPER, utilizando lijas de diferentes calibres (120,100,80 y 40), para suavizar la superficie y mejorar la visualización de los anillos de crecimiento, lo que facilita la distinción entre anillos falsos y verdaderos. Después del lijado, las muestras se humedecieron con combustible diésel para resaltar la madera temprana y tardía, y se clavó la corteza a las rodajas para evitar que se desprendiera debido a cambios bruscos de humedad.

Una vez que las rodajas han sido trabajadas en el laboratorio para su análisis, se procede a la medición de los anillos anuales de crecimiento. Estos se realizan en los lados superiores de las secciones transversales; se cuentan los anillos de crecimiento y se llevan a cabo las mediciones. Frecuentemente en lugar de medir el incremento anual, generalmente se mide el incremento en períodos de 5 o 10 años. En los árboles jóvenes de rápido crecimiento se toman períodos de 5 años y para árboles viejos períodos de 10 años.

Se realizo el conteo de anillos a la altura de sección del tocón (0.30 m) y para determinar la edad total del árbol se le añadió la edad que alcanzó a la altura de 0.30 m, para

obtener esta edad se tomó en cuenta el conteo del número verticilos en renuevos de *Pinus teocote* a la altura del tocón.

Al paso anterior lo llama análisis del crecimiento en altura y para realizarlo señala que en el disco tomado a 0.3 m se cuentan los anillos de crecimiento; el cual evita incluir los llamados anillos incompletos y al número de anillos encontrados se le suman los años que se estima fueron necesarios para que el brinzal haya alcanzado la altura a 0.3 m y el resultado obtenido será la edad del árbol.

Se cuentan los anillos completos en cada uno de los discos a las diferentes alturas y se anotan en un formato. Acto seguido se calcula la edad a la cual el árbol fue alcanza sucesivamente las alturas a cada sección. Esto se hace por diferencia entre la edad actual del árbol y el número de anillos encontrados en la sección.

Una vez realizadas las mediciones y el registro de los datos estos deben de verificarse para después procesar y analizar la información y realizar las gráficas.

Al análisis posterior es el desarrollo de la altura del árbol se efectúa mediante el desarrollo de su perfil interno. A través de la unión de los diferentes puntos determinados por la edad; y a su vez se puede trazar una gráfica que representa el perfil del árbol, conocido como procedimiento tradicional.

Edad Total del Árbol

Determinamos la edad total del árbol ($E t$) sumando el número de anillos en la sección del tocón ($N t$) y el número de años necesarios para que la planta alcanzara la altura del tocón ($A t$).

$$E t = N t + A t$$

Donde:

$N t$ = Número de anillos de crecimiento en el tocón.

$A t$ = Años necesarios para que el árbol alcanzara la altura del tocón.

Edad a las Alturas de Corte

Para determinar la edad a las diferentes alturas de corte, utilizamos la diferencia entre la edad total del árbol y el número de anillos en cada sección (N_i).

Para una rodaja tomada a una altura hi :

$$E_i = E_t - N_i$$

Donde:

E_i = Edad del árbol a la altura hi .

N_i = Número de anillos de crecimiento en la rodaja a la altura hi

3.3 Selección de modelos de crecimiento y validación.

Se realizó una investigación exhaustiva mediante la revisión de varios artículos científicos y tesis relacionadas con el crecimiento de especies de pinos en diferentes ubicaciones geográficas (Cuadro 2).

Los modelos de crecimiento seleccionados para el estudio fueron: los modelos de crecimiento logístico, Gompertz, Chapman-Richards, Schumacher, Korf y Weibull, debido a su idoneidad para la investigación y su aplicación previa en estudios similares (Cuadro 2; Cuadro 4).

Cuadro 4. Modelos para estimar el crecimiento de *Pinus teocote* Schltdl. Et Cham., en el Ejido La Trinidad, Montemorelos, Nuevo León.

Modelos de crecimiento	Ecuación
Logístico	$Y = \frac{a}{d + e^{b-cX}}$
Gompertz	$Y = ae^{-be^{cX}}$
Chapman-Richards	$Y = a[1 - e^{-bX}]^c$
Schumacher	$Y = ae^{-b*(\frac{1}{X})}$
Korf	$Y = ae^{b(X*c)}$
Weibull	$Y = a[1 - e^{-bX^c}]$

Donde: y=variable de estudio; a, b, c, d= parámetros de regresión; x= edad; e= base de logaritmos de naturales.

3.4 Selección de modelos

Se generó una base de datos en Excel que abarcó los datos obtenidos en campo. Esta información fue procesada con el paquete Statistical Analysis System (SAS) 9.0 y SigmaPlot versión 15. Se utilizó el procedimiento PROC NLIN de SAS para realizar análisis de regresión no lineal y calcular los valores predichos de las variables: altura, diámetro normal, área basal y volumen.

Para comparar los modelos de regresión, se emplearon varios criterios: los valores más altos de los coeficientes de determinación (R^2) y ajustados (R^2_{adj}), además, los valores más bajos del cuadrado medio del error (CME) y de la raíz del cuadrado medio del error (\sqrt{CME}).

El coeficiente de determinación, R^2 , es la proporción de la suma de cuadrados total corregida de la variable dependiente que se "explica" por la(s) variable(s) independiente(s) en el modelo (Rawlings, 1988).

$$R^2 = \frac{\text{Suma de cuadrados de la Regresión}}{\text{Suma de cuadrados Totales}}$$

Cuanto mayor sea el R^2 , más variación tendrá en cuenta el modelo. Tenga en cuenta que la regresión SS mostrado en una salida PROC NLIN no está corregido para la media. Por lo tanto, R^2 debe calcularse con la siguiente ecuación:

$$R^2 = 1 - \frac{\text{Suma de cuadrados del Error}}{\text{Suma de cuadrados Totales}}$$

El coeficiente de determinación ajustado (R^2_{adj}) es un cambio de escala de R^2 por los grados de libertad para qué implica una razón de cuadrados medios en lugar de sumas de cuadrados. Similar a R^2 , debe calcularse a partir de los cuadrados medios residuales y totales:

$$R^2_{adj} = 1 - \frac{\text{Suma de cuadrados del Error}}{\text{Suma de cuadrados Totales}}$$

El coeficiente de determinación ajustado es más comparable que R^2 para modelos que implican diferentes números de parámetros, un modelo con un R^2_{adj} alto es más favorable,

debido a su estructura, el criterio R^2 ajustado a menudo lleva a la misma conclusión que el criterio MSE (Rawlings, 1988).

Una vez que se elige un modelo de regresión, el modelo debe validarse para confirmar su eficacia. Validación del modelo requiere comparar la ecuación ajustada con un conjunto de datos independientes.

3.5 Determinación del turno absoluto

Para la determinación del turno absoluto, se seleccionó el modelo más adecuado a partir de los estadísticos obtenidos. Con este modelo, se derivaron el Incremento Medio Anual (IMA) y el Incremento Corriente Anual (ICA) valiéndose de las fórmulas correspondientes (Cuadro 4). Al sustituir los coeficientes de regresión, se obtuvieron los valores previstos para cada variable (altura, diámetro, área basal y volumen). Luego, se representaron gráficamente los valores de ICA e IMA de cada variable, y la intersección de estas líneas proporcionó el turno absoluto (Cuadro 5).

Cuadro 5. Cálculo del Incremento corriente anual (ICA) e Incremento medio anual (IMA).

Variable	Ecuación ICA	Ecuación IMA
Altura	$ICA = \frac{Altura2 - Altura1}{Edad2 - Edad1}$	$IMA = \frac{Altura}{Edad}$
Diámetro	$ICA = \frac{Diámetro2 - Diámetro1}{Edad2 - Edad1}$	$IMA = \frac{Diámetro}{Edad}$
Área basal	$ICA = \frac{Área\ basal2 - Área\ basal1}{Edad2 - Edad1}$	$IMA = \frac{Área\ basal}{Edad}$
Volumen	$ICA = \frac{Volumen2 - Volumen1}{Edad2 - Edad1}$	$IMA = \frac{Volumen}{Edad}$

Fuente: José-Imaña (2008)

4 RESULTADOS

La altura de los 36 árboles varió entre 13.5 y 24.5 m con una media de 17.25 m, el cual una dispersión baja (CV = 8.7%) (Cuadro 6). El diámetro normal de los árboles presentó una media de 27.3 cm y un rango de 19.2 a 44.6 cm, con un valor alto en el coeficiente de variación (CV= 38.6%), lo cual indica una considerable dispersión. El área basal es la más consistente, ya que presentó una media de 0.05863 m² y un CV bajo (0.0009%), ya que este valor es influenciado por las unidades de área basal. El volumen de los árboles varía entre 0.39810 y 1.58250 m³, con una media de 0.92253 m³ y una dispersión moderada (CV= 0.1117%). En general, los datos reflejan que los diámetros son los más variables, mientras que el área basal es la más uniforme, con alturas y volúmenes presento una variabilidad moderada (Cuadro 6).

Cuadro 6. Rango, media, error estándar y coeficiente de variación de las variables dasométricas de los árboles utilizados para el análisis troncal de *Pinus teocote* Schlecht. & Cham., en el Ejido La Trinidad, Montemorelos, Nuevo León.

Variables	Árboles (n)	Mínimo	Media	Máximo	Error estándar	Coeficiente de variación (CV) (%)
Altura (m)	36	13.5	17.25	24.5	2.9909	8.6971
Diámetro (cm)	36	19.2	27.3	44.6	6.2992	38.5775
Área basal (m ²)	36	0.02910	0.05863	0.15621	0.0311	0.0009
Volumen (m ³)	36	0.39810	0.92253	1.58250	0.3390	0.1117

4.1 Crecimiento en altura

Con respecto a la relación edad-altura, la ecuación que presentó mejor ajuste en *Pinus teocote* Schltdl. et Cham fue el modelo Weibull dado que mostró el más alto valor de R²= 0.9572 y de R²_{adj} = 0.95223, dicho ajuste fue altamente significativo (Cuadro 7). Dicho modelo tuvo uno de los valores más bajos del CME= 2.5351 (Cuadro 7), cabe señalar que

los modelos de Chapman-Richards y Gompertz tuvieron valores semejantes al modelo de Weibull, por lo que también serían una opción para utilizarse.

Cuadro 7. Cuadro. Modelos de crecimiento utilizados para la variable altura de *Pinus teocote* Schlttdl. et Cham de un aprovechamiento, en el Ejido La Trinidad, Montemorelos, Nuevo León.

Modelos	Parámetros	Estimación	R ²	R ² _{adj}	CME	RMCE	Pr>F
Schumacher	a	25.3053	0.94755	0.94719	7.1046	2.6654	<.0001
	b	22.9					
Chapman-Richards	a	26.8461	0.95234	0.95205	5.765	2.401	<.0001
	b	0.1793					
	c	0.1					
Weibull	a	22.2595	0.95272	0.95223	6.4268	2.5351	<.0001
	b	0.0137					
	c	1.16					
Gompertz	a	19.3028	0.9516	0.95115	5.8723	2.4232	<.0001
	b	3.0581					
	c	0.0588					
Logístico	a	36.0802	0.94864	0.94817	6.2312	2.4962	<.0001
	b	3.1083					
	c	0.0987					
	d	2					
Korf	a	4.5453	0.8873	0.8866	13.5883	3.6836	<.0001
	b	0.0228					
	c	1					

Donde: R²= Raíz cuadrada, R²_{adj}= R cuadrada ajustada, CME=Cuadrado medio del error medio, Pr>F= Probabilidad estadística.

4.1.1 Curva de crecimiento e incremento y turno absoluto en altura.

Con relación a la curva de crecimiento en altura, el modelo de Weibull mostró un patrón de crecimiento lineal de cero hasta los 17 años (Figura 2 A), después el modelo ajustó el crecimiento en altura de manera logarítmica, finalmente, el máximo crecimiento en altura fue de 24.5 m (Figura 2 A).

Con respecto a los incrementos en altura, ICA e IMA, ambos incrementos presentaron un rápido ascenso (Figura 2 B). El ICA alcanzó 0.43 m a la edad de 14 años mientras que el IMA mostró un incremento de 0.40 m a los 17 años. Por lo tanto, el turno absoluto se determinó a la intercepción de los 17 años (Figura 2 B). Después a los 20 años, ambos incrementos presentan una disminución gradual lo cual sugiere que, a esta última edad, los árboles están experimentan un cambio en su patrón de crecimiento, esto es de un crecimiento acelerado a un ritmo de crecimiento moderado (Figura 2 B).

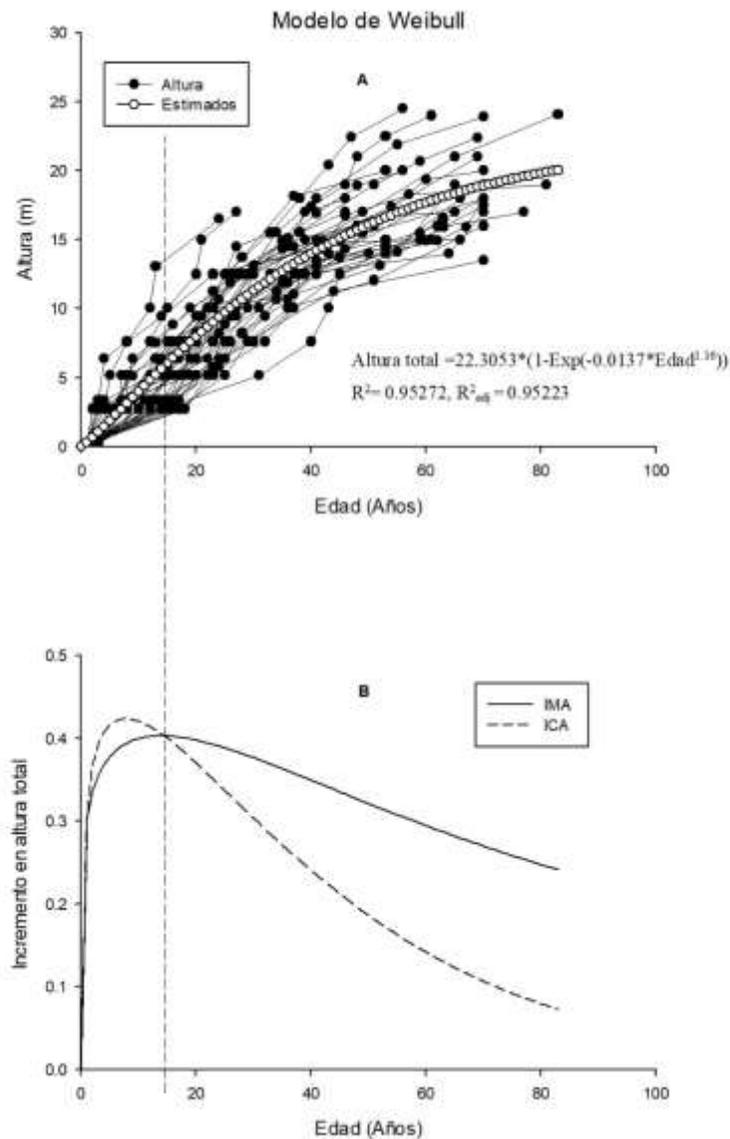


Figura 2. Valores de dispersión de valores de altura con la edad y curva de ajuste del modelo Weibull (a), Curvas de Incremento Corriente Anual (ICA) e Incremento Medio Anual (IMA) de altura (b) de *Pinus Teocote* Schlecht. & Cham en El Ejido La Trinidad, Montemorelos, Nuevo León.

4.2 Crecimiento en diámetro normal

Con respecto al crecimiento edad-diámetro normal, el modelo que presentó mejor ajuste en *Pinus teocote* Schltdl. et Cham fue el de Weibull dado que mostró el más alto valor de $R^2 = 0.94818$ y de $R^2_{\text{adj}} = 0.9474$, dicho ajuste fue altamente significativo (Cuadro 8).

Dicho modelo tuvo uno de los valores más bajos del CME= 22.5512 (Cuadro 8), cabe señalar que los modelos de Chapman-Richards, Schumacher y Gompertz tuvieron valores semejantes al modelo de Weibull, por lo que también serían una opción para utilizarse.

Cuadro 8. Modelos de crecimiento utilizados para la variable diámetro de *Pinus teocote* Schltdl. et Cham de un aprovechamiento, en el Ejido La Trinidad, Montemorelos, Nuevo León.

Modelos	Parámetros	Estimación	R ²	R ² _{adj}	CME	RMCE	Pr>F
SCHUMACHER	a	46.1131	0.94347	0.94297	24.4928	4.9490	<.0001
	b	30.8301					
CHAPMAN-RICHARDS	a	101.7	0.94817	0.94778	19.3822	4.4025	<.0001
	b	0.0538					
	c	0.1					
WEIBULL	a	84.1162	0.94818	0.94749	22.5512	4.7488	<.0001
	b	0.00598					
	c	1.0303					
GOMPERTZ	a	36.9334	0.9448	0.94426	20.6899	4.5486	<.0001
	b	3.0792					
	c	0.0409					
LOGÍSTICO	a	63.2923	0.9406	0.93992	22.2992	4.7222	<.0001
	b	3.0422					
	c	0.0718					
	d	1.9375					
KORF	a	6.3268	0.9178	0.91723	30.722	5.5427	<.0001
	b	0.0242					
	c	0.0074					

Donde: R²= Raíz cuadrada, R²_{adj}= R cuadrada ajustada, CME=Cuadrado medio del error medio, Pr>F= Probabilidad estadística.

4.2.1 Curva de crecimiento e incremento y turno absoluto en diámetro normal

Con relación a la curva de crecimiento en diámetro normal, el modelo de Weibull mostró un patrón de crecimiento lineal de cero hasta los 40 años de edad (Figura 3 A), después el modelo ajustó el crecimiento en diámetro de manera logarítmica, después ambos

crecimientos presentan un patrón de crecimiento continuo y progresivo a medida que avanza el tiempo y la tendencia ascendente de la curva indica que el diámetro de los árboles aumenta de manera constante con el tiempo, el cual refleja un crecimiento sostenido a lo largo de los años (Figura 3 A).

Con respecto a los incrementos en diámetro normal, ICA e IMA, ambos incrementos presentaron un rápido ascenso el cual se observó un incremento en “J” (Figura 3 B). El cual presentó un ICA_{max} de 0.5273 cm a la edad de 5 años mientras que el IMA_{max} mostró un incremento de 0.5224 cm a los 9 años. Por lo tanto, el turno absoluto se determinó a la intersección de los 14 años (Figura 3 B). Después a los 20 años, ambos incrementos presentan una disminución gradual lo cual presenta una tasa de crecimiento más estable a lo largo del tiempo en comparación con la ICA, que disminuye constantemente después de alcanzar su máximo (Figura 3 B). Esta tendencia sugiere que, aunque el crecimiento inicial en diámetro es rápido, el ritmo de incremento anual se estabiliza en el caso del IMA, mientras que el ICA muestra una reducción continua (Figura 3 B).

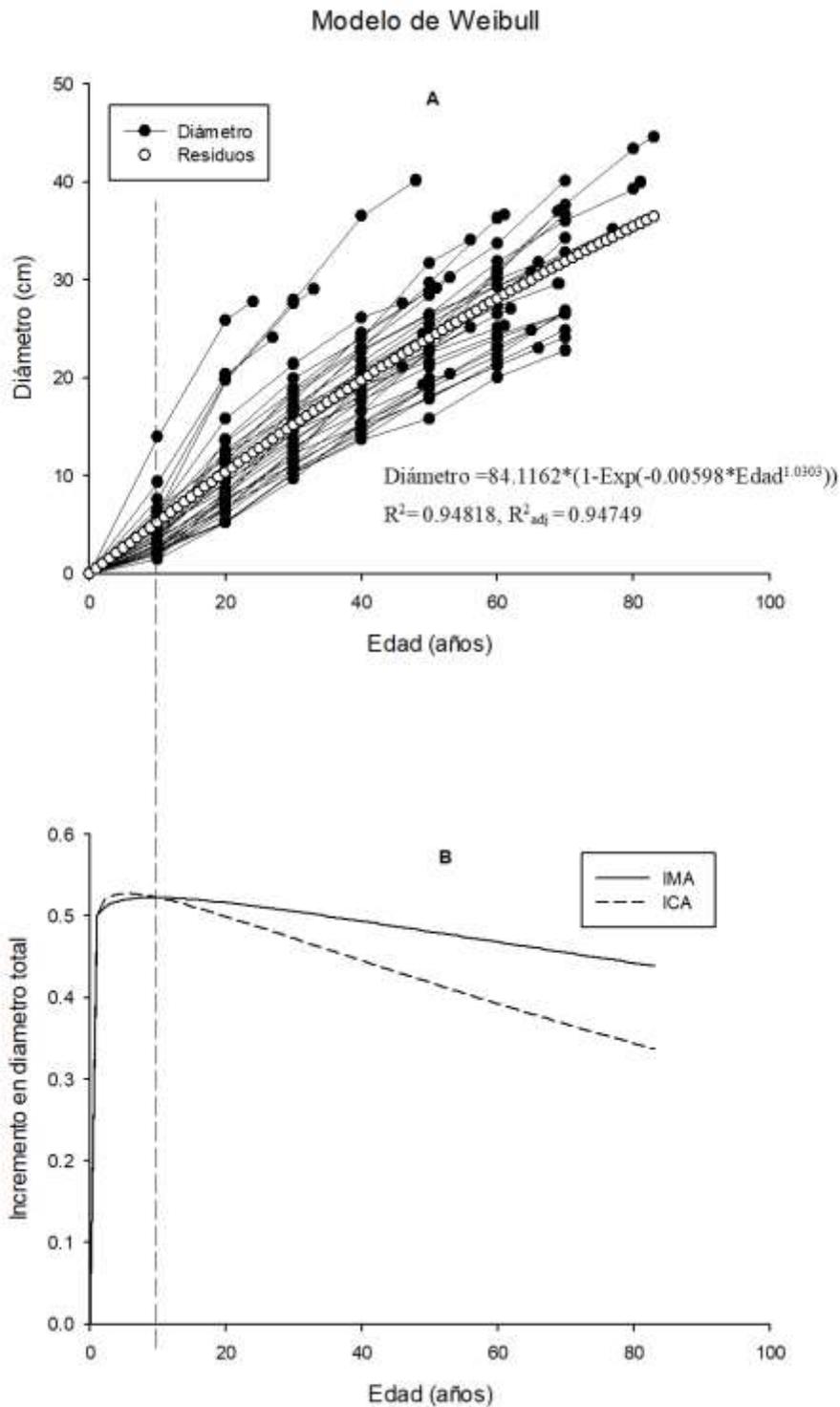


Figura 3. Valores de dispersión de valores de diámetro con la edad y curva de ajuste del modelo Weibull (a), Curvas de Incremento Corriente Anual (ICA) e Incremento Medio Anual (IMA) de diámetro (b) de *Pinus Teocote* Schlecht. & Cham en el Ejido La Trinidad, Montemorelos, Nuevo León.

4.3 Crecimiento área basal

Con respecto a la relación edad-área basal, la ecuación que presentó mejor ajuste en *Pinus teocote* Schltdl. et Cham fue el modelo de Gompertz dado que mostró el más alto valor de $R^2 = 0.8743$ y de $R^2_{adj} = 0.8725$, dicho ajuste fue altamente significativo (Cuadro 9). Dicho modelo tuvo uno de los valores más bajos del CME= 0.0003 (Cuadro 9), cabe señalar que los modelos de Chapman-richards, Weibull y Korf tuvieron valores semejantes al modelo de Gompertz, por lo que también serían una opción para utilizarse.

Cuadro 9. Modelos de crecimiento utilizados para la variable área basal de *Pinus teocote* Schltdl. et Cham de un aprovechamiento, en el Ejido La Trinidad, Montemorelos, Nuevo León.

Modelos	Parámetros	Estimación	R^2	R^2_{adj}	CME	RMCE	Pr>F
SCHUMACHER	a	0.2815	0.8563	0.8547	0.0003	0.0176	<.0001
	b	87.2963					
CHAPMAN-RICHARDS	a	13652.3	0.8299	0.8288	0.0004	0.0191	<.0001
	b	7.18E-08					
	c	1.0000					
WEIBULL	a	7759.8	0.8722	0.8711	0.0003	0.0166	<.0001
	b	4.87E-09					
	c	1.8152					
GOMPERTZ	a	13.4727	0.8743	0.8725	0.0003	0.0165	<.0001
	b	7.9727					
	c	0.00652					
LOGISTICO	a	0.456	0.8734	0.8716	0.0003	0.0165	<.0001
	b	4.282					
	c	0.0385					
	d	0.3924					
KORF	a	0.00662	0.8734	0.8721	0.0003	0.0165	<.0001
	b	0.0367					
	c	0.0450					

Dónde: R^2 = Raíz cuadrada, R^2_{adj} = R cuadrada ajustada, CME=Cuadrado medio del error, RCME= Raíz cuadrada del error medio, Pr>F= Probabilidad estadística.

4.3.1 Curva de crecimiento e incremento y turno absoluto en área basal.

Con relación a la curva de crecimiento en área basal, el modelo de Gompertz mostró un patrón de crecimiento exponencial moderado de cero hasta los 45 años (Figura 4 A), después el modelo ajustó mayor crecimiento en área basal de los 50 años hasta los 83 años, finalmente, el máximo crecimiento en área basal fue de 0.1300 m (Figura 4 A).

Con respecto a los incrementos en área basal, ICA e IMA, ambos incrementos presentaron un rápido crecimiento en los primeros años cual se observó un incremento en “J” (Figura 4 B). El ICA alcanzó 0.0048 m a la edad de 1 años mientras que el IMA mostró un incremento de 0.0048 m a los 1 años. Por lo tanto, el turno absoluto se determinó a la intercepción de los 22 años (Figura 4 B). Después a los 1 años, se observó que el IMA e ICA tienen una tendencia de crecimiento equivalente, donde al año y medio tienen una declinación significativa, el cual el IMA más notorio y a la edad de 20 años tiene su punto de aumento, pero tiene mayor crecimiento el IMA que el ICA (Figura 4 B).

MODELO DE GOMPERTZ

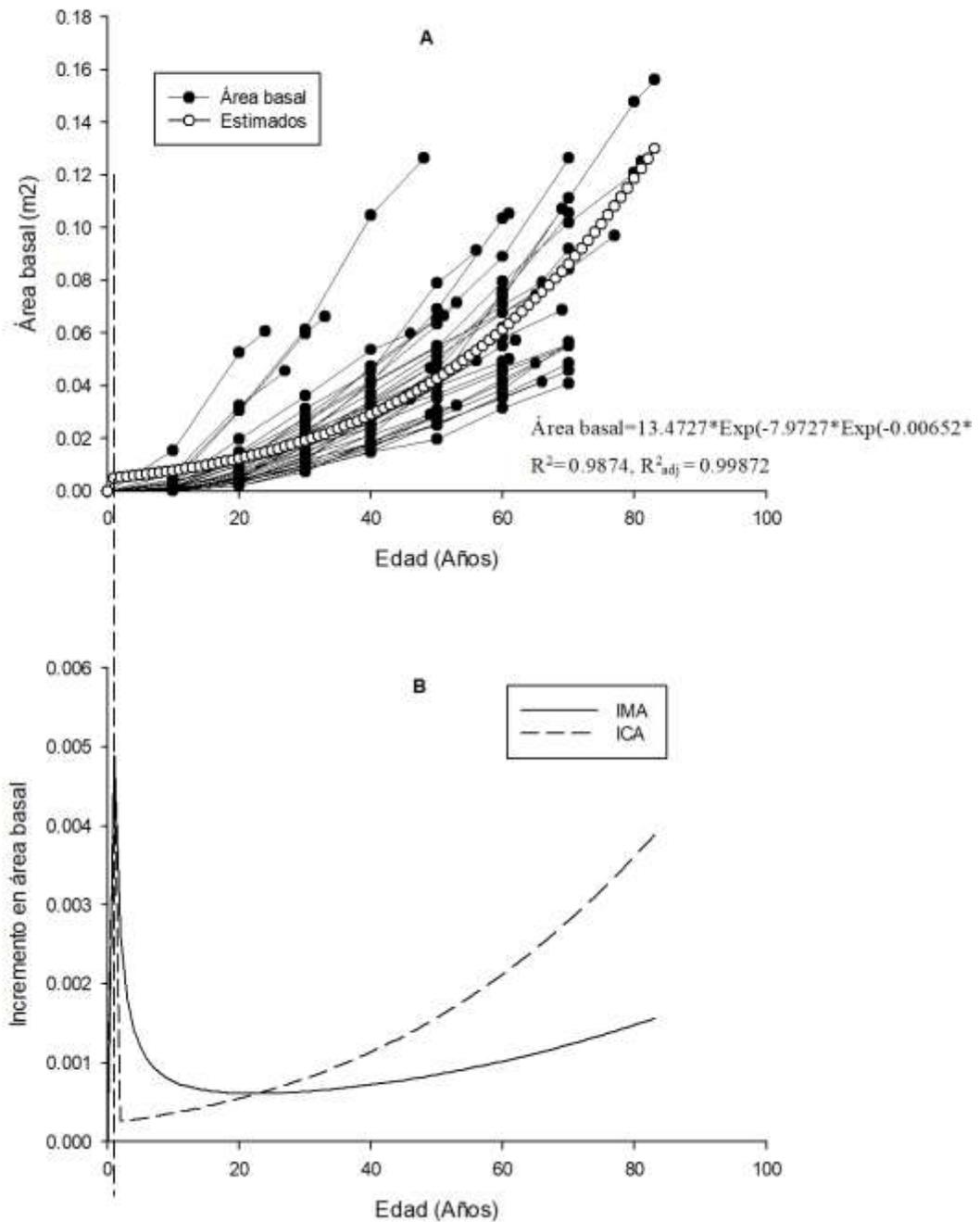


Figura 4. Valores de dispersión de valores de área basal con la edad y curva de ajuste del modelo Gompertz (a), Curvas de Incremento Corriente Anual (ICA) e Incremento Medio Anual (IMA) de área basal (b) de *Pinus Teocote* Schlecht. & Cham en el Ejido La Trinidad, Montemorelos, Nuevo León.

4.4 Crecimiento en volumen

Con respecto al crecimiento edad-volumen, la ecuación que presentó mejor ajuste en *Pinus teocote* Schltdl. et Cham fue el modelo Weibull dado que mostró el más alto valor de $R^2 = 0.8670$ y de $R^2_{adj} = 0.8654$, dicho ajuste fue altamente significativo (Cuadro 10). Dicho modelo tuvo uno de los valores más bajos del CME= 0.0583 (Cuadro 10), cabe señalar que los modelos de Chapman-Richards tuvo valores semejantes al modelo de Weibull, por lo que también sería una opción para representar el crecimiento edad-volumen.

Cuadro 10. Modelos de crecimiento utilizados para la variable Volumen de *Pinus teocote* Schltdl. et Cham de un aprovechamiento, en el Ejido La Trinidad, Montemorelos, Nuevo León.

Modelos	Parámetros	Estimación	R^2	R^2_{adj}	CME	RMCE	Pr>F
SCHUMACHER	a	1.5226	0.8543	0.8529	0.0637	0.2524	<.0001
	b	35.0348					
CHAPMAN-RICHARDS	a	-149.7	0.8664	0.8653	0.0504	0.2245	<.0001
	b	-5.00E-05					
	c	1.9587					
WEIBULL	a	-0.5142	0.8670	0.8654	0.0583	0.2415	<.0001
	b	-5.85E-02					
	c	0.6893					
GOMPERTZ	a	1.565	0.8629	0.8613	0.0519	0.2278	<.0001
	b	3.0489					
	c	0.0277					
LOGISTICO	a	56.3795	0.8598	0.8584	0.053	0.2302	<.0001
	b	6.2164					
	c	0.0548					
	d	44.9676					
KORF	a	0.1877	0.8475	0.8463	0.0575	0.2398	<.0001
	b	0.0257					
	c	2					

Dónde: R^2 = Raíz cuadrada, R^2_{adj} = R cuadrada ajustada, CME=Cuadrado medio del error, RCME= Raíz cuadrada del error medio, Pr>F= Probabilidad estadística.

4.4.1 Curva de crecimiento e incremento y turno absoluto en volumen.

Con relación a la curva de crecimiento en volumen, el modelo de Weibull mostró un patrón de crecimiento lineal de cero hasta los 83 años (Figura 5 A), en el cual se presentó que en el grupo de edad 60-69 años tienden a tener volúmenes mayores en comparación con otros grupos de edades similares lo que esto proporciona una visión detallada del crecimiento volumétrico, por lo que presento un patrón de crecimiento exponencial y continuo (Figura 5 A).

Con respecto a los incrementos en altura, ICA e IMA, ambos incrementos presentaron un rápido ascenso en los primeros años el cual se observó un incremento en “J” (Figura 5 B). El ICA alcanzó 0.03097 m³ a la edad de 1 años mientras que el IMA mostró un incremento de 0.03097 m a los 1 años. Por lo tanto, el turno absoluto se determinó a la intercepción de los 45 años (Figura 5 B). Después a los 40-83 años, el ICA comienza a aumentar lentamente, mientras que el IMA se estabiliza y también muestra un ligero incremento y después de esta edad, ambos indicadores presentan un crecimiento más estable (Figura 5 B).

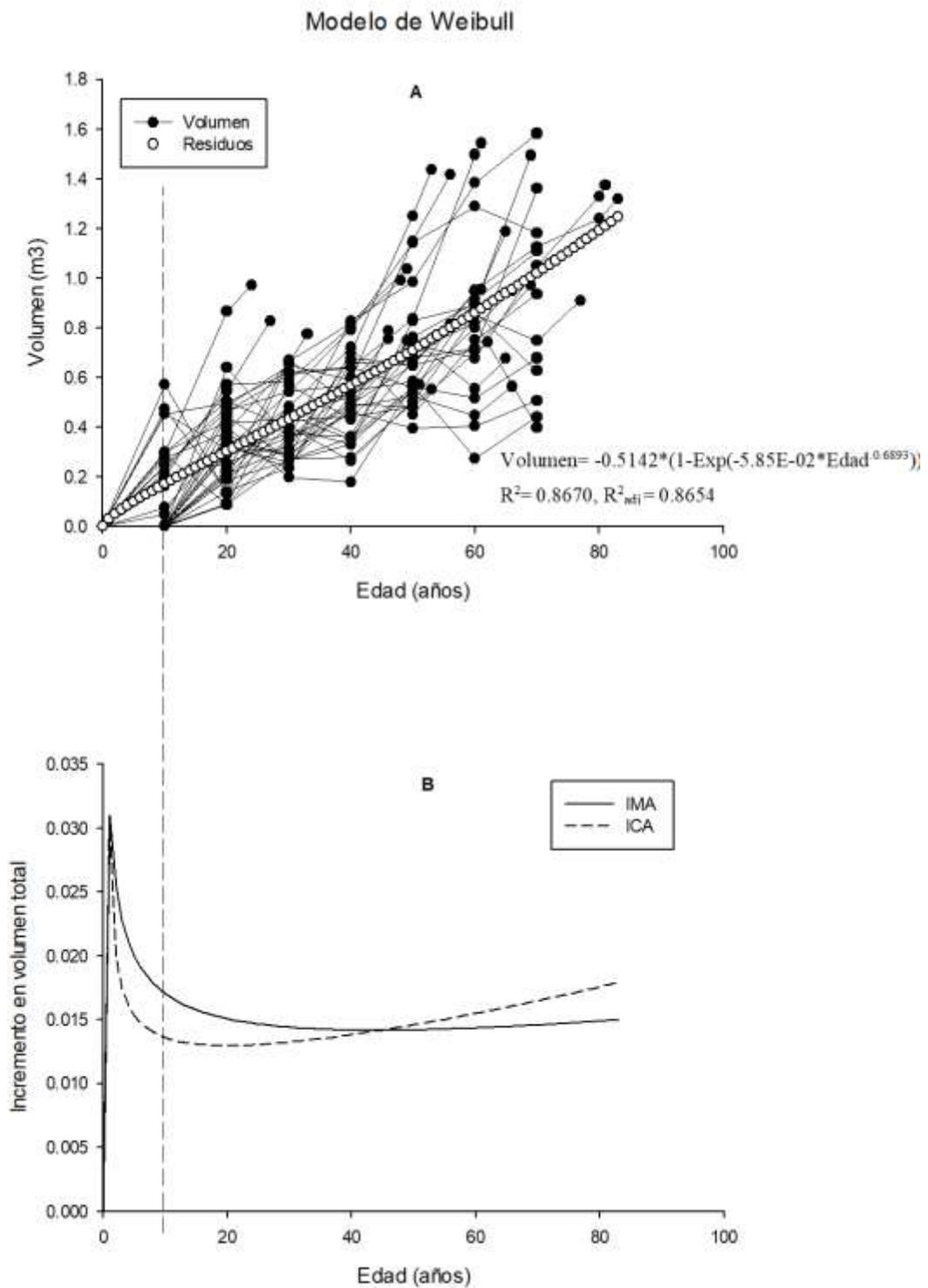


Figura 5. Valores de dispersión de valores de volumen con la edad y curva de ajuste del modelo Weibull (a), Curvas de Incremento Corriente Anual (ICA) e Incremento Medio Anual (IMA) de volumen (b) de *Pinus Teocote* Schlecht. & Cham en el Ejido La Trinidad, Montemorelos, Nuevo León.

5 DISCUSIÓN

5.1 Crecimiento y turno absoluto en altura

Con relación al crecimiento y turno absoluto en altura reportado en este estudio, Ríos-Camey *et al.*, (2021) encontraron que el modelo de Weibull también fue el mejor ajustado para el crecimiento e incremento en biomasa y carbono de *Pinus teocote* y *Pinus oocarpa* en Guerrero, México, con un R^2 de 0.73 y un R^2_{adj} de 0.88. Aunque este ajuste es inferior al obtenido en el presente estudio, confirma la efectividad del modelo de Weibull en distintas condiciones y especies. Esta similitud en el ajuste de los modelos puede deberse a características biológicas comunes entre las especies de pino, como su patrón de crecimiento y respuesta a factores ambientales.

Hernández *et al.*, (2021) también identificaron que el modelo de Schumacher proporcionó el mejor ajuste para el índice de crecimiento de edad y altura de *Pinus teocote* en Hidalgo, con un R^2 de 0.99 y un R^2_{adj} de 0.97, de tal manera González-Méndez *et al.*, (2016) en su estudio sobre el crecimiento en altura dominante de *Pinus pseudostrobus* en Guerrero, encontraron que el modelo de Chapman-Richards mostró la mejor calidad de ajuste, con un R^2_{adj} de 0.9931, en comparación con el resultado con los estudios tienen semejanzas en R^2 y R^2_{adj} y la precisión de estos modelos con el modelo Weibull sugiere que el modelo de Schumacher y Chapman-Richards pueden ser adecuados para describir ciertos aspectos específicos en la representación del crecimiento en altura.

En Oaxaca, Aguilar *et al.*, (2016) utilizaron el modelo de Chapman-Richards para *Pinus montezumae* y encontraron que el ICA alcanzó su máximo a los 20 años y el IMA a los 25 años, lo cual contrasta con nuestros resultados, donde el ICA alcanzó su máximo a los 8 años y el IMA a los 14 años. Estas diferencias resaltan el crecimiento temprano y rápido de *Pinus teocote* puede estar relacionado con su capacidad de adaptación y competencia en su entorno natural. De igual manera, Aguilar *et al.*, (2016) encontraron que el ICA y IMA se encontraron el turno para Schumacher a la edad de 31 años y en el modelo de Weibull se interceptaron de a la edad de 31 años en comparación en este estudio se encontró el turno absoluto se determinó a los 17 años, esto sugiere que el turno se encontró más pronto con *Pinus teocote* ya que es una especie de rápido crecimiento, en comparación con el *Pinus montezumae* que es de un crecimiento más moderado.

5.2 Crecimiento y turno absoluto en diámetro normal

Hernández *et al.*, (2021) evaluaron *Pinus oocarpa* y *Pinus pseudostrobus* en Guerrero y encontraron que el modelo de Weibull fue el mejor para *Pinus pseudostrobus* (R^2_{adj} de 0.7831), mientras que el modelo de Hossfeld I fue el mejor para *Pinus oocarpa* (R^2_{adj} de 0.9001) y de igual manera Almeida-Souza *et al.*, (2019) también resaltan la efectividad de los modelos de Weibull y Chapman-Richards para ajustar curvas de crecimiento en diámetro, encontrando buenos resultados para cinco especies de pinos en Durango, México. Estos resultados coinciden con los hallazgos, donde el modelo de Weibull mostró una alta precisión en el ajuste del crecimiento en diámetro para *Pinus teocote* y esto sugiere que, aunque el modelo de Weibull es altamente efectivo para *Pinus teocote*, otras especies pueden ajustarse mejor con diferentes modelos dependiendo de las características específicas de cada especie y región,

Finalmente, Corral *et al.*, (2016) observaron variaciones en el ICA máximo entre diferentes especies de pinos, tales como *Pinus cooperi*, *P. durangensis*, *P. engelmannii*, *P. herrerae* y *P. leiophylla*. Estas especies tienen un máximo de crecimiento en diámetro de 0.31, 0.28, 0.30, 0.27 y 0.22 cm/año respectivamente. Este máximo se alcanzó a las edades de 16, 16, 5, 8 y 1 años. En nuestro estudio, se encontró que el ICAMax para *Pinus teocote* se alcanza a los 5 años con un valor de 0.5273 m, mientras que el IMAMax se alcanza a los 9 años con un valor de 0.5224 m. Este patrón de crecimiento en *Pinus teocote* muestra un crecimiento temprano y rápido en diámetro, lo que puede atribuirse a su adaptación a las condiciones ecológicas de su hábitat, donde la competencia por luz y espacio es intensa, en contraste con *Pinus leiophylla* y *Pinus herrerae*, que muestran máximos de crecimiento en edades más tempranas (1 y 8 años respectivamente), podrían estar adaptadas a diferentes condiciones ambientales donde la competencia por recursos ocurre en etapas aún más tempranas de desarrollo.

5.3 Crecimiento y turno absoluto en área basal

Javier-Hernández *et al.*, (2020) encontraron que los modelos de Chapman-Richards, Hossfeld I, Schumacher y Weibull presentaron buenos ajustes para *Pinus leiophylla* y *P. lumholtzii*, con R^2 que varían de 0.9614 a 0.9854. Estos resultados son comparables a los

obtenidos en nuestro estudio para *Pinus teocote*, indicando la consistencia de estos modelos en diferentes especies y regiones.

Hernández *et al.*, (2021) reportaron que el modelo de Schumacher fue el mejor para estimar el crecimiento en área basal de *Pinus pseudostrobus*, mientras que el modelo de Chapman-Richards fue el mejor para *Pinus oocarpa* en la Región Centro de Guerrero, México, de manera similar Hernández-Ramos *et al.*, (2014) encontraron que el modelo de Schumacher fue el más adecuado para modelar el área basal en función de la edad para *Pinus greggii* en Metztitlán, Hidalgo, esto sugiere que, aunque el modelo de Weibull es efectivo para *Pinus teocote*, otras especies pueden ajustarse mejor con diferentes modelos, donde se puede tomar en cuenta estos modelos ya que son especies similares.

Pedro-Cruz *et al.*, (2022) determinaron que el modelo de Schumacher tipo polimórfico tuvo el mejor ajuste para las curvas de crecimiento en área basal, correlacionándose bien con las observaciones en plantaciones jóvenes. Esto sugiere que, en plantaciones jóvenes y en sitios productivos, el crecimiento en área basal es exponencial, lo que coincide con los hallazgos de nuestro estudio en las etapas iniciales de crecimiento.

Gyawali *et al.*, (2015) señalaron que el punto de intersección del turno entre el IMA y el ICA ocurre alrededor de los 19-20 años para el crecimiento del área basal de árboles individuales para el pino de Chir (*Pinus roxburghii* Sarg.) en el oeste de Nepal, similar al turno absoluto determinado en nuestro estudio a los 22 años. Esto sugiere que el turno es similar con esta especie especies de pino y destaca la importancia de considerar las similitudes y diferencias en los patrones de crecimiento entre regiones geográficas.

5.4 Crecimiento y turno absoluto en volumen

Patabang *et al.*, (2014) encontraron que el modelo logístico fue el más apropiado para estimar el crecimiento en diámetro y volumen en *Pinus merkusii* en Indonesia, con un coeficiente de correlación de 0.999. Aunque este resultado es superior al obtenido en nuestro estudio de R^2 de 0.8670.

Ángeles (2022) encontró que el modelo logístico fue el más adecuado para describir la relación edad-volumen en *Pinus greggii* var. *greggii* en Durango, con altos coeficientes de determinación (R^2 de 0.80 y R^2_{adj} 0.77). Estos resultados son similares a los obtenidos en

nuestro estudio, lo que sugiere que el modelo logístico puede ser útil para especies con patrones de crecimiento en volumen.

Corral *et al.*, (2016) evaluaron 11 modelos de crecimiento e incremento en volumen para *Pinus durangensis*, *P. cooperi*, *P. leiophylla*, *P. engelmannii* y *P. herrerae* en Durango. Encontraron que el modelo de Chapman-Richards fue el que mejor ajustó las curvas de crecimiento para estas especies, similar a nuestros resultados, ya que el modelo de Chapman-Richards también podría ser una opción viable para *Pinus teocote*.

Moreno (2022) analizó el comportamiento del ICA y el IMA, observando que el ICA de la plantación alcanzó su máximo a los 17 años, con un valor de 0.07476 m³/año, y el IMA máximo se registró a los 25 años, con un valor de 0.05441 m³/año. Este comportamiento es similar al observado en nuestro estudio, donde el ICA alcanzó su máximo temprano y luego mostró una estabilización en el crecimiento.

6 CONCLUSIONES

Se determinó el crecimiento en altura, diámetro normal, área basal y volumen, así como el turno absoluto de *Pinus teocote* Schlecht. & Cham., en el Ejido La Trinidad, Montemorelos, Nuevo León. Se seleccionaron los mejores modelos para las relaciones edad-altura, edad-diámetro normal, edad-área basal y edad-volumen, los cuales describen el crecimiento de la especie en el estudio y determinan los turnos absolutos para cada variable, lo que permitió identificar patrones y tendencias en el desarrollo de los árboles a lo largo del tiempo.

Con base en los resultados, se rechazó la hipótesis nula, ya que los modelos no lineales seleccionados son confiables para estimar el crecimiento de *Pinus teocote* Schtdl. & Cham. en un nivel de confianza del 95%.

El modelo Weibull demostró buen ajuste para la altura, diámetro normal y volumen, mientras que el modelo de Gompertz resultó ser el más adecuado para el área basal. Se determinó que el modelo Weibull describió los crecimientos en altura y diámetro normal, con un crecimiento lineal en las primeras etapas que luego terminó de manera logarítmica, el cual muestra un rápido incremento en los primeros años seguido de una disminución gradual. Dicho modelo ayudó a determinar el turno absoluto a la edad de 14 años en ambos crecimientos.

En cuanto al crecimiento en área basal, el modelo de Gompertz mostró el mejor ajuste, en donde se obtuvo un crecimiento exponencial con un incremento más marcado en los primeros años, pero a medida que los árboles envejecieron, el crecimiento presentó una gradual declinación, por lo que el turno absoluto se encontró a los 22 años.

Para el crecimiento en volumen, nuevamente el modelo Weibull fue el más adecuado, el cual identifica un máximo incremento inicial en el primer año y un crecimiento lineal, por lo que el turno absoluto se encontró a los 40 años.

7 RECOMENDACIONES

Se recomienda aplicar los modelos de ajuste seleccionados a otras especies de pinos para verificar su aplicabilidad, esto podría incluir un estudio comparativo que evalúe cómo varían los parámetros de crecimiento entre especies.

Se recomienda aplicar los modelos de Chapman-richards, Weibull, Gompertz, Korf, Logístico y Schumacher. Son modelos que se ajustan adecuadamente.

Se recomienda probar la validez de los modelos en diferentes regiones geográficas con diversas condiciones climáticas y edáficas. Esto permitirá evaluar su validación de los modelos y su aplicabilidad en distintos contextos forestales.

Recomienda desarrollar herramientas de software basadas en los modelos de crecimiento para facilitar su uso por parte de gestores forestales y científicos. Estas herramientas pueden incluir aplicaciones móviles o plataformas en línea que permitan la simulación y predicción del crecimiento de *Pinus teocote* bajo diferentes escenarios de manejo.

8 LITERATURA CITADA

- Aguilar Sandí, D. (2019). ¿Qué es un árbol? Revista de biología tropical, Blog. <https://doi.org/10.15517/rbt.v0i3.37682>
- Aguilar, G.P, Santiago-Juárez, W., Martínez-Santiago, D., & Ortiz-Barrios, R. (2016). Análisis del crecimiento e incremento y estimación de índice de sitio para *Pinus montezumae* Lamb. En santiago textitlán, sola de vega, OAXACA. Foresta Veracruzana, 18(2), 21–28. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=49748829003>
- Alba-Landa, J., Mendizábal-Hernández, L. del C., Ramírez-García, E. O., Márquez Ramírez, J., & Cruz-Jiménez, H. (2011). Tecnología para el manejo de *Pinus teocote* Schl. et Cham. Foresta Veracruzana, 13(1), 43–48. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=49719786007>
- Almeida-Souza, M., Velazco, M. R. H., Protázio, J. M. B., Flores, J. G. E., LópezSanchez, C. A., Diaz, J. C. H., & Wehenkel, C. (2019). Sistema dinámico de crecimiento diamétrico para cinco especies de pinos en Durango, México. Revista Mexicana de Agroecosistemas, 6(2), 145–156.
- Amaro, E. G. (1987). Modificaciones al sistema de clasificación climática de köppen. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geografía.
- Ángeles, A.G. (2022). Crecimiento e incremento de *Pinus greggii* var. *greggii* en dos plantaciones forestales comerciales en la subcuenca de Santiaguillo, Durango. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo [Tesis profesional] 64 p.<http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/48120/K%2067273%20Gutierrez%20Angeles%2c%20Adriana.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Antuna M. S. (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. Universidad autónoma agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo [Tesis Profesional] 75 p.<http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/845/57124s.pdf?sequence=1>

- Ayala, R. Á., Gutiérrez, L. M., & Rodríguez, E. M. (2012). Manejo de una plantación forestal mixta en la planicie huasteca (Inifap, Ed.). Instituto Nacional De Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.
- Brienen, R. J. W., & Zuidema, P. A. (2003). Anillos de crecimiento de árboles maderables en Bolivia: su potencial para el manejo de bosques y una guía metodológica. 7, 33.
- Casado, A. I. (2019, diciembre 17). Dendrocronología: contando anillos. Geología desde Ávila. <https://geolodiaavila.com/2019/12/17/dendrocronologia-contando-anillos/>
- CETENAL. 1977. Carta Geológica. G14C46 Rayones. Esc. 1: 50, 000
- CONANP. (2006). Parque nacional cumbres de monterrey, México, diciembre 2006, 179p.
- Corral R., S., & Návar Cháidez, J. de J. (2016). Análisis del crecimiento e incremento de cinco pináceas de los bosques de Durango, México. *Madera y bosques*, 11(1), 29–47. <https://doi.org/10.21829/myb.2005.1111260>
- De la rosa Brian T. Styles, A. F. J. A. P. (1997). Guía de campo de los pinos de México y América central (Prime edición). Suzy Dickerson.
- DETENAL. 1977. Carta de Uso del Suelo. G14C46 Rayones. Esc. 1: 50,000.
- DOF - Diario Oficial de la Federación. (2023). Gob.mx. Recuperado el 15 de febrero 2024 de: https://www.dof.gob.mx/nota_detalle_popup.php?codigo=5696430
- Elledge, J., & Barlow, B. (2018). Basal area: A measure made for management. Alabama Cooperative Extension System. <https://www.aces.edu/blog/topics/forestry/basal-area-a-measure-made-for-management/>
- Farjon, A. (2013). *Pinus teocote*. Lista Roja de Especies Amenazadas de la UICN 2013: Recuperado el 15 de febrero 2024 de: <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2013-1.RLTS.T42422A2979110.en>.
- Garduño, G. C. R. L., Cano, R. L., María José Muñozcano Quintanar, Collado, E., & Román, J. E. S. (2009). La diversidad biológica del Estado de México. Gob.mx; Gobierno Del Estado. https://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/Libros2011/EEB_ED OMEX_baja.pdf

- González-Méndez, M., Cruz-Cobos, F., Quiñonez-Barraza, G., Vargas-Larreta, B., & Nájera-Luna, J. A. (2016). Modelo de crecimiento en altura dominante para *Pinus pseudostrobus* Lindl. en el estado de Guerrero. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 7(37), 7–20. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-11322016000500020
- Guerra-De la Cruz, V., Islas-Gutiérrez, F., Flores-Ayala, E., Acosta-Mireles, M., Buendía-Rodríguez, E., Carrillo-Anzures, F., Tamarit-Urías, J. C., & Pineda-Ojeda, T. (2019). Modelos locales altura-diámetro para *Pinus montezumae* Lamb. y *Pinus teocote Schiede* ex Schltdl. en Nanacamilpa, Tlaxcala. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 10(51), 133–156. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v10i51.407>
- Gyawali, A., Sharma, R. P., & Bhandari, S. K. (2015). Individual tree basal area growth models for Chir pine (*Pinus roxberghii* Sarg.) in western Nepal. *Journal of Forest Science*, 61(12), 535–543. <https://doi.org/10.17221/51/2015-jfs>
- Hernández-Ramos, J., García-Magaña, J. J., Olvera-Delgadillo, E. H., Velarde-Ramírez, J. C., García-Cuevas, X., & Muñoz-Flores, H. J. (2014). Site index for *Pinus greggii* Engelm. Plantations in metztlán, hidalgo, mexico. *Revista chapingo serie ciencias forestales y del ambiente*, 20(2), 167–176. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2013.04.016>
- Hernández-Cuevas, M., Santiago-García, W., Santos-Posadas, H. M. D. L., Martínez-Antúnez, P., & Ruiz-Aquino, F. (2018). Modelos de crecimiento en altura dominante e índices de sitio para *Pinus ayacahuite* Ehren. *Agrociencia* (1996), 52(3), 437–453. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952018000300437
- Hernández, F. J., Bretado Medrano, B. M., Márquez Bernal, E., Nájera Luna, J. A., & Vargas Larreta, B. (2021). Estimación del crecimiento de dos especies de *Pinus* de la Región Centro de Guerrero, México. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 12(68), 31–57. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v12i68.898>
- Javier-Hernández, F., Meraz-Aragón, J. C., Larreta, B. V., & Nájera-Luna, J. A. (2020). Crecimiento en diámetro, altura, área basal y volumen para tres especies de pino en

Chihuahua, México. Revista mexicana de ciencias forestales, 11(60).
<https://doi.org/10.29298/rmcf.v11i60.711>

Jesús J. P. P. (2021). Cronología de Producción de Semillas de *Pinus Johannis* M.F. Robert Para Poblaciones Del Noreste de México. Universidad autónoma agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo [Tesis De Ingeniería] 42 p.

José-Imaña E, O. E. B. (2008). EPIDOMETRÍA FORESTAL (Primera edición). Edikapas C.A.

Klepac, D. (1983). Crecimiento e incremento de árboles y masas forestales. Segunda Edición, Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, Estado de México. 297 p.
https://dicifo.chapingo.mx/pdf/publicaciones/crecimiento_e_incremento_klepac_dusan.pdf

Lara, M. A. Á. (2015). Estimación de la productividad de *Pinus teocote* schldl. y cham. En sierra de Álvarez, san Luis Potosí, Tesis de maestría, [Universidad Autónoma de Nuevo León]. <http://Http://eprints.uanl.mx/13919/1/1080237732.pdf>

Martínez-Pastur, G., Lencinas, M. V., Vukasovic, R., Peri, P., Diaz, B., & Cellini, J. M. (2004). Turno de corta y posibilidad de los bosques de lenga (*Nothofagus pumilio*) en Tierra del Fuego (Argentina). Bosque (Valdivia), 25(1), 29–42.
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=173114404003>

Monárrez-González, J. C., y Ramírez-Maldonado, H. (2003). Prediction of the yield in masses of excessive density of *Pinus durangensis* mtz. Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente 9(1): 45-56 pp.

Moreno, V. M. L (2022). Estimación de turnos para cedro rojo (*cedrela odorata* L.) en plantaciones de enriquecimiento de acahual A 25 años de establecidas en Pochutla, Oaxaca Universidad autónoma agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo [Tesis De Licenciatura], 87 p.
<https://repositorio.uaaan.mx/bitstream/handle/123456789/48530/K%2067539%20Lira%20Moreno%2c%20V%c3%adctor%20Mnauel.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Patabang, M., Malamassam, D., & Hardjanto, H. (2014). Growth model of pine (*Pinus merkusii* jungh. Et de Vriese) stand on community forest in Tana toraja

- regency. *Jurnal Manajemen Hutan Tropika (Journal of Tropical Forest Management)*, 20(1), 1–8. <https://doi.org/10.7226/jtfm.20.1.1>
- Pedro-Cruz, A., Galán-Larrea, R., De los Santos Posadas, H. M., Valera-Venegas, G., Riverana, J. L., & Sandoval-García, C. (2022). Crecimiento de *Pinus patula* var. *longepedunculata* Loock en plantaciones de la Sierra Sur de Oaxaca. *Madera y bosques*, 28(1), e2811438. <https://doi.org/10.21829/myb.2022.2811438>
- Perry, J. P. (1991). *The Pines of México and Central América*. Timber Press (OR) 231 p.
- Prodan, M., R. Peters, F. Cox, P. Real, (1997). *Mensura forestal*. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. San José, Costa Rica, 586 p.
- Ramírez, M., H. (2017). *Manual para la elaboración de programas de manejo forestal maderable en clima templado frío*. Comisión Nacional Forestal (Conafor). Zapopan, Jalisco, México, 134 p.
- Rawlings, J.O. (1988). *Applied regression analysis: a research tool*. Wadsworth and Brooks, Belmont, California.
- Ríos-Camey, J. M., Aguirre-Calderón, O. A., Treviño-Garza, E. J., Jiménez-Pérez, J., Alanís-Rodríguez, E., & De Los Santos-Posadas, H. M. (2021). Crecimiento e incremento en biomasa y carbono de *Pinus teocote* Schltdl. et Cham. y *Pinus oocarpa* Schiede., Guerrero, México. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 12(67). <https://doi.org/10.29298/rmcf.v12i67.997>
- Salmerón Bravo, S. A. (2015). Crecimiento e incremento de árboles de seis poblaciones de *Pinus johannis* M. -F. robert, en el Noreste de México. Universidad autónoma agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo [Tesis De Ingeniería] 75 p.
- Tamarit-Urías, J. C., Quiñonez-Barraza, G., García-Cuevas, X., Hernández-Ramos, J., & Monárrez-González, J. C. (2021). Ecuación dinámica para estimar el crecimiento en diámetro de *Pinus montezumae* Lamb. en Puebla, México. *Madera y bosques*, 27(3), e2732180. <https://doi.org/10.21829/myb.2021.2732180>
- Torres, J. M. R. (2001). Curvas de índice de sitio de forma y escala variables en investigación forestal. *Agrociencia* (1996), 35(1), 87–98. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=30235108>

Wehenkel, C. A., Guardado Marín, F. J., Hernández, F. J., Quiñonez Barraza, G., Hernández Díaz, J. C., Nájera Luna, J. A., Cassian Santos, J. M., & Caballero Deloya, M. (2024). Cadena productiva de madera aserrada en los bosques templados de México y su evolución a la cadena de valor. Comisión Nacional Forestal (CONAFOR).

Zarate, M. G. (2000). Crecimiento e incremento en regeneración de *Pinus estevezii* (mtz) Perry y su relación con características ambientales al sur de nuevo león. Universidad autónoma agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo [Tesis De Ingeniería] 91 P.<http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/827/56439s.pdf?sequence=1>