

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO FORESTAL



Crecimiento e Incremento de *Pinus estevezii* (Mart.) Perry,
en el Ejido la Trinidad, Montemorelos, Nuevo León

Por:

JOHAN RAFAEL CRUZ

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO FORESTAL

Saltillo, Coahuila, México

Diciembre, 2024

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO FORESTAL

Crecimiento e Incremento de *Pinus estevezii* (Mart.) Perry
en el Ejido la Trinidad, Montemorelos, Nuevo León

Por:

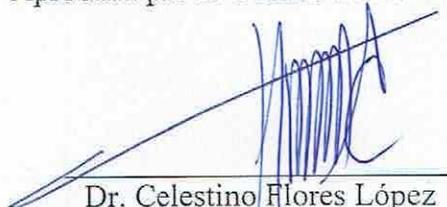
JOHAN RAFAEL CRUZ

TESIS

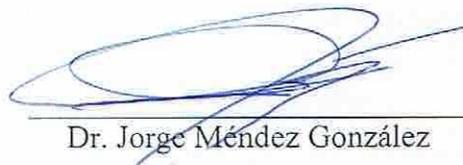
Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO FORESTAL

Aprobada por el Comité de Asesoría


Dr. Celestino Flores López

Asesor Principal


Dr. Jorge Méndez González

Coasesor


Dr. Eladio Heriberto Cornejo Oviedo

Coasesor


Dr. Alberto Sandoval Rangel

Coordinador de la División de Agronomía



Saltillo, Coahuila, México

Diciembre, 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



Johan Rafael Cruz

Matrícula: 41193376

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 38111-425103001-2175. Que lleva por nombre Diversidad y Estructura de Bosques Tropicales en el Occidente y Sureste de México. Proyecto a cargo del profesor investigador Dr. Celestino Flores López. Profesor-Investigador del Departamento Forestal.

DEDICATORIA

A mis padres, el Sr. Vito Rafael Hernández y la Sra. Estela Cruz Garabito, que son los pilares más importantes y me apoyaron durante estos cinco largos años, siempre me dieron todo lo que estuvo a su alcance para que yo terminara la carrera, ya que sin ellos esto no hubiera sido posible. Gracias por todo, los amo.

A mis abuelos, el Sr. Abelino Cruz y la Sra. Juana Garabito López, que ya no está conmigo, pero que sé que donde quiera que esté, está orgullosa de mí porque siempre me decía que le echara ganas de que terminara mis estudios y porque siempre me dieron sabios consejos.

A mis hermanos Flavio Cesar Cruz Garabito, Karen Enedina Rafael Cruz y Estela Zurisaday Rafael Cruz por todo el apoyo que me han brindado y por todos los consejos que me dieron para poder terminar la carrera y que nunca me diera por vencido.

A todos mis familiares que siempre estuvieron presentes durante todo este tiempo y nunca me dieron la espalda, siempre me apoyaron cuando más lo necesitaba, a mis tíos más cercanos, la Sra. Benita Cruz Garabito y el Sr. Bernardino Avendaño.

A mis primos Rosa Aurora Avendaño Cruz, Jorge Andrés Avendaño Cruz y Guadalupe Avendaño Cruz, que son como mis hermanos y que son personas con las que compartí muchos momentos durante gran parte de mi vida y que sé que cuento con el apoyo de ellos.

AGRADECIMIENTOS

A mis padres, el Sr. Vito Rafael Hernández y la Sra. Estela Cruz Garabito, porque a lo largo de mi vida siempre me apoyaron y dieron lo mejor de ellos para que yo pudiera tener estudios y terminar una carrera.

A mi Alma Terra Mater la universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, por abrirme sus puertas y hacer que me sintiera en casa. Viví muchos buenos momentos dentro de ella y conocí a personas maravillosas, con orgullo puedo decir que soy un buitre de la Narro.

A mis hermanos Flavio Cesar Cruz Garabito, Karen Enedina Rafael Cruz y Estela Zurisaday Rafael Cruz porque siempre confiaron en mí y me apoyaron cuando más lo ocupaba.

Al Dr. Celestino Flores López por brindarme todas las herramientas, enseñanzas necesarias durante sus clases y por dirigir este gran trabajo y por ser un gran profesor durante la carrera.

Al Dr. Jorge Méndez González y al Dr. Eladio Heriberto Cornejo Oviedo por ayudar a la revisión de esta tesis y de igual forma por ser unos grandes profesores en las materias que me impartieron y ayudaron en mi formación académica.

A mis amigos, compañeros, y grandes personas como lo son Alondra Lizbeth Palacios Carrillo, Dilan Nieves Juárez, Alan Alejandro Loyola Rincón por todas aquellas desveladas, momentos divertidos, tristes y por brindarme siempre la mano y estar ahí cuando lo necesitaba. A cada uno de ellos infinitas gracias. Y a una persona muy especial para mí, Melissa Gómez Hernández que siempre me ha apoyado, y a la que quiero mucho y tengo demasiado cariño, ya que a donde quiera que vaya siempre estará conmigo.

ÍNDICE DE CONTENIDO

	Página
RESUMEN	xi
ABSTRACT	xii
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Objetivo general.....	3
1.2 Objetivos específicos	3
1.3 Hipótesis.....	3
2. REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1 Crecimiento e Incremento	4
2.2 Medición de crecimiento.....	4
2.3 Curvas de crecimiento.....	5
2.4 Modelos de crecimiento y estudios relacionados.....	5
2.5 Modelos de crecimiento	6
2.6 Turno	7
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	10
3.1 Localización y descripción del área de estudio del área de estudio	10
3.1.1 Geología y edafología.....	10
3.1.2 Clima.....	11
3.1.3 Vegetación	11
3.2 Análisis troncal	12
3.2.1 Elección de la muestra	12
3.2.2 Derribo y troceo de los árboles.	12
3.2.3 Análisis en laboratorio	13
3.3 Selección de modelos de crecimiento y validación	14
3.4 Selección de modelos.....	15
3.5 Determinación del turno absoluto	16
4. RESULTADOS	18
4.1 Crecimiento y turno absoluto en altura	18
2.1 Crecimiento y turno absoluto en diámetro normal	21
2.1 Crecimiento y turno absoluto en área basal	23
2.1 Crecimiento y turno absoluto en volumen	25
5. DISCUSIÓN	28

5.1	Crecimiento y turno absoluto en altura	28
5.2	Crecimiento y turno absoluto en diámetro normal	28
5.3	Crecimiento y turno absoluto en área basal	29
5.4	Crecimiento y turno absoluto en volumen	29
6.	CONCLUSIONES	30
7.	RECOMENDACIONES.....	31
8.	LITERATURA CITADA	32

ÍNDICE DE CUADROS

	Página
Cuadro 1. Modelos no lineales comunes utilizados para estimar el crecimiento en altura, diámetro normal, área basal y volumen de diversas especies pino en México.	8
Cuadro 2. Ubicación geográfica de los parajes en los que se seleccionaron los árboles para los análisis troncales de <i>Pinus estevezii</i> (Mart.) Perry, en el Ejido la Trinidad, Montemorelos, Nuevo León.	12
Cuadro 3. Modelos para estimar el crecimiento de <i>Pinus estevezii</i> (Mart.) Perry, en el Ejido la Trinidad, Montemorelos, Nuevo León.	15
Cuadro 4. Cálculo del Incremento corriente anual (ICA) e Incremento medio anual (IMA).	17
Cuadro 5. Rango, media, error estándar y coeficiente de variación de las variables dasométricas de los árboles utilizados para el análisis troncal de <i>Pinus estevezii</i> (Mart.) Perry, en el Ejido la Trinidad, Montemorelos, Nuevo León.	18
Cuadro 6. Modelos de crecimiento utilizados para la variable de altura de la especie de <i>Pinus estevezii</i> (Mart.) Perry, en el Ejido la Trinidad, Montemorelos, Nuevo León.	19
Cuadro 7. Modelos de crecimiento utilizados para la variable de diámetro de la especie de <i>Pinus estevezii</i> (Mart.) Perry, en el Ejido la Trinidad, Montemorelos, Nuevo León.	21
Cuadro 8. Modelos de crecimiento utilizados para la variable de área basal de la especie de <i>Pinus estevezii</i> (Mart.) Perry, en el Ejido la Trinidad, Montemorelos, Nuevo León.	23
Cuadro 9. Modelos de crecimiento utilizados para la variable de volumen de la especie de <i>Pinus estevezii</i> (Mart.) Perry, en el Ejido la Trinidad Montemorelos, Nuevo León.	25

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Ubicación geográfica de los rodales Laborcitas y Pilitas de <i>Pinus estevezii</i> (Mart.) Perry, en Montemorelos, Nuevo León.	10
Figura 2. Valores de dispersión de altura con la edad y curva del modelo ajustado Weibull (A). Curvas de incrementos ICA e IMA de altura (B) de <i>Pinus estevezii</i> (Mart.) Perry en el Ejido la Trinidad, Montemorelos, Nuevo León.	20
Figura 3. Valores de dispersión de diámetro con la edad y curva del modelo ajustado Weibull (A). Curvas de incrementos ICA e IMA de diámetro (B) de <i>Pinus estevezii</i> (Mart.) Perry en el Ejido la Trinidad, Montemorelos, Nuevo León.	22
Figura 4. Valores de dispersión de área basal con la edad y curva del modelo ajustado Weibull (A). Curvas de incrementos ICA e IMA de área basal (B) de <i>Pinus estevezii</i> (Mart.) Perry en el Ejido la Trinidad, Montemorelos, Nuevo León.	24
Figura 5. Valores de dispersión de volumen con la edad y curva del modelo ajustado Korf (A). Curvas de incrementos ICA e IMA de volumen (B) de <i>Pinus estevezii</i> (Mart.) Perry en el Ejido la Trinidad, Montemorelos, Nuevo León.	26

RESUMEN

El objetivo de este estudio fue determinar los modelos no lineales de ajuste para las curvas de crecimiento de altura, diámetro normal, área basal y volumen de *Pinus estevezii* (Mart.) Perry, en el ejido La Trinidad, Montemorelos, Nuevo León. Se hicieron análisis troncales de nueve árboles. Se probaron cinco modelos, Schumacher, Chapman-Richards, Weibull, Korf y Hossfel IV, para determinar el crecimiento en altura, diámetro normal, área basal y volumen. Para seleccionar los mejores modelos, los criterios que se utilizaron fueron los valores más altos de los coeficientes de determinación (R^2) y ajustado (R^2 adj), además de los valores más bajos del cuadrado medio del error (CME) y la raíz del cuadrado medio del error (\sqrt{CME}).

El modelo de Weibull fue el que mejor se ajustó para las variables de altura, diámetro normal y área basal, ya que presentó los mejores estadísticos de $R^2= 0.9227$ y R^2 adj= 9198, $R^2= 9577$ y R^2 adj= 9553, $R^2= 0.8776$ y R^2 adj= 0.8709 respectivamente, mientras que el modelo Korf fue el de mejor ajuste para el volumen. Se generaron tablas de incremento corriente anual (ICA) e incremento medio anual (IMA) para determinar la edad exacta a la cual se presenta el turno absoluto para cada variable. Las curvas de incremento indicaron que el turno absoluto se presenta en diferentes edades. Para la altura fue a los 22 años de edad, para el diámetro normal ocurrió los 35 años de edad, para el área basal sucedió a los 51 años de edad y para el volumen fue a los 52 años de edad.

Palabras clave: Análisis troncal, ICA, IMA, crecimiento, incremento, modelos, turno.

ABSTRACT

The objective of this study was to determine the nonlinear fitting models for the growth curves of tree height, diameter at breast height, basal area, and volume of *Pinus estevezii* (Mart.) Perry, in the La Trinidad ejido, Montemorelos, Nuevo León. Stem analyses were conducted on nine trees. Five models were tested—Schumacher, Chapman-Richards, Weibull, Korf, and Hossfeld IV to determine growth in tree height, diameter at breast height, basal area, and volume. To select the best models, the criteria used were the highest values of the coefficients of determination (R^2) and adjusted (R^2 adj), in addition to the lowest values of the mean square error (MSE) and the root mean square error ($\sqrt{\text{MSE}}$).

The Weibull model provided the best fit for tree height, diameter at breast height and basal area variables, because it had the best statistics of $R^2= 0.9227$ and R^2 adj= 0.9198, $R^2= 0.9577$ and R^2 adj= 0.9553, $R^2= 0.8776$ and R^2 adj= 0.8709, respectively, while the Korf model provided the best fit for volume. Annual increment (AI) and mean annual increment (MAI) tables were generated to determine the exact age at which the absolute rotation occurs for each variable. The increment curves indicated that the absolute rotation occurs at different ages: 22 years for tree height, 35 years for diameter at breast height, 51 years for basal area and 52 years for volume.

Keywords: Stem analyses, AI, MAI, growth, increment, models, rotation.

1. INTRODUCCIÓN

Las especies pertenecientes al grupo de las coníferas desempeñan un papel preponderante en una variedad de formaciones vegetales, en el territorio mexicano, su presencia abarca desde las áreas costeras hasta altitudes superiores a los 4 000 metros sobre el nivel del mar, la concentración más significativa se registra en los bosques ubicados en las elevaciones de la Sierra Madre Occidental y Sierra Madre Oriental (Gernandt y Pérez de la Rosa, 2014).

El género *Pinus*, perteneciente a la familia Pinaceae, desempeñan un papel significativo por la cosecha de su madera. En México existen alrededor de 65 especies de *Pinus* es el país que cuenta con más especies que ningún otro en América del Norte (Farjon *et al.*, 1997).

En México, los pinos desempeñan un papel crucial tanto desde el punto de vista ecológico como económico y social, frecuentemente, constituyen el componente predominante de la vegetación ejercen influencia en los procesos operativos del ecosistema, como los ciclos biogeoquímicos e hidrológicos, así como en los regímenes de fuego, además, sirven como hábitat y fuente de alimentación para la fauna silvestre (Sánchez, 2008).

Pinus estevezii (Mart.) Perry es una especie que se distribuye en estados como Nuevo León, al noroeste de Galeana, Dieciocho de Marzo, Cerro del Potosí, al sur de Zaragoza, también en Tamaulipas, a una altura de 1800 m (Perry, 1982).

La madera de *Pinus estevezii* sirve principalmente en la industria de aserrió de igual manera sirve para postes, carreteras y durmientes, también se utiliza en usos domésticos, de manera ornamental, la especie es recomendable utilizarla en plantaciones, ya que ayudan a la recuperación de suelos degradados (Eguiliz, 1978).

En la actualidad, en México, el sector forestal enfrenta desafíos de eficiencia, principalmente a causa de prácticas administrativas deficientes y errores en la gestión de los bosques; la economía forestal se ha centrado principalmente en determinar el momento ideal para la tala de un árbol o bosque, conocido como período óptimo de rotación, ciclo de corta o turno forestal, sin considerar otros beneficios y servicios que el bosque puede proporcionar (Loera *et al.*, 2015).

Es importante determinar el turno en los estudios forestales para así saber con certeza el momento óptimo en el que se debe intervenir un rodal o un bosque. Esto depende de los objetivos que se tengan, ya sea económico o producción de volumen, etc. (Coronel de Renolfi, 2015). La capacidad de poder predecir el rendimiento y el crecimiento de una especie forestal maderable reviste una importancia primordial, ya que facilita la planificación de un manejo racional mediante la aplicación de estudios pertinentes en el campo forestal (Santiago *et al.*, 2015).

Las curvas de crecimiento son una representación gráfica de tamaños logrados dentro de un rodal es necesario conocer conceptos tales como incremento, incremento corriente anual (ICA), incremento total, periódico, periódico anual e incremento medio anual (IMA) para interpretar y analizar las características de las curvas de crecimiento e incremento de árboles y de los bosques (Ayerde, 1996). Existen diferentes tipos de turnos y estos se pueden aplicar según de los objetivos que tenga un estudio, una plantación o un aprovechamiento maderable dentro de estos se encuentra el turno técnico forestal, el turno silvícola y el turno financiero cada uno de estos con diferente objetivo (Ávila *et al.*, 2012).

En el ejido La Trinidad el aprovechamiento forestal inició en el año 1996, con 41,332 m³ de volumen en pino y para el encino fue de 17,553 m³, de volumen en un total de 1983 hectáreas; para el año de 1999, debido a que se autorizó el ajuste y la unificación de los programas de aprovechamiento forestal maderable esta superficie aumento a 2,073 hectáreas y el volumen fue 42, 255 m³. Por varias décadas este ejido se ha dedicado a la extracción de madera de pino. En el año 2005 venció su último permiso de extracción comercial con el que contaba (CONANP, 2006).

El turno puede definirse como el periodo de regeneración de los recursos forestales que comprende desde su extracción hasta el momento en que estos son susceptibles de nuevo aprovechamiento, la NOM-152- SEMARNAT-2023 dice que se debe de indicar el turno expresado en años para predios a aprovechar y que este debe de ser múltiplo del ciclo de corta de no ser así debe de haber una justificación (SEMARNAT, 2023).

De esta manera la NOM-152- SEMARNAT-2023 establece que los inventarios forestales tienen que cumplir con ciertos requisitos para el manejo forestal, este proceso comienza con la obtención de la cartografía, seguido del diseño de muestreo, número total

de sitios muestreados y el tamaño de los mismos, así como recolección y procesamiento de los datos, así como la memoria de cálculo para de esta manera obtener el turno o edad de cosecha y ciclo de corta (SEMARNAT, 2023).

1.1 Objetivo general

Describir el crecimiento a partir de las curvas de ajuste de modelos no lineales para altura, diámetro normal, área basal y volumen de *Pinus estevezii* (Mart.) Perry, en el ejido La Trinidad, Montemorelos, Nuevo León.

1.2 Objetivos específicos

Definir el modelo no lineal de mejor ajuste para curvas de crecimiento en altura, diámetro normal, área basal y volumen de *Pinus estevezii* (Mart.) Perry.

Describir el crecimiento y determinar el turno absoluto de altura, diámetro normal, área basal y volumen de *Pinus estevezii* (Mart.) Perry.

1.3 Hipótesis

Ho: Los modelos no lineales utilizados para describir las curvas de crecimiento de altura, diámetro normal, área basal y volumen de *Pinus estevezii* (Mart.) Perry, no se ajustan con un 95% de confiabilidad.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Crecimiento e Incremento

El crecimiento es el proceso de desarrollo que experimenta un árbol, un bosque y que da por resultado un aumento en la altura, el grosor, por lo tanto, del volumen de madera en pie (Loera *et al.*, 2015).

El incremento de los bosques es un fenómeno biológico que está determinado por varios factores, tales como las características genéticas de las especies, la densidad de población, la edad de los árboles, los aspectos ambientales como tipo de suelos, topografía, vientos, insolación, temperatura y precipitación (Loera *et al.*, 2015).

El incremento corriente anual (ICA), es lo que crece un árbol o una masa arbolada en el transcurso de un año en alguna de sus dimensiones (Ramírez, 2017).

El incremento medio anual (IMA), es lo que crece alguna dimensión de un árbol o una masa arbolada en promedio por año en algún punto de su edad (Ramírez, 2017).

Para cada árbol es apropiado definir un turno, que se especifica como la edad a la que un árbol individual alcanza el propósito de su cultivo (Ramírez, 2017).

El turno se refiere al periodo que pasa desde que se planta o regenere el bosque hasta el momento en que se cosecha, lo cual permite el desarrollo de una nueva masa arbórea. La duración de este periodo varía según la especie, la producción del producto y la calidad del sitio. Por esta razón, hay diferentes tipos de turnos que se basan en diversos factores, como aspectos técnicos, biológicos, financieros, entre otros (Musalem, 2006).

2.2 Medición de crecimiento

Para determinar el incremento de bosques existen varios métodos uno de ellos es a través del taladro de Pressler esto para extraer cilindros o virutas de incremento, se perfora el árbol a 1.30 m, se analizan estas muestras con las que se determina el crecimiento e incremento del mismo; la técnica del análisis troncal permite comprender el crecimiento del árbol a lo largo de su ciclo de vida, ya que a través de ellas se puede determinar las dimensiones del árbol, se incluye su tamaño, diámetro y volumen en un año específico de su ciclo vital (Klepac, 1983).

Las parcelas permanentes es el método más generalizado en estudios de crecimiento y rendimiento, la remediación de estas parcelas nos permite tener una estimación más precisa que se tiene del crecimiento comparado con cualquier otro método que se aplica con igual intensidad de muestreo (Prodan *et al.*, 1997). La metodología de estos consiste en delimitar áreas que deben de ser suficientemente grandes para así tener una muestra que sea representativa de la masa estudiada, se empieza por delimitar el centro y a partir de ahí tomar variables de altura, diámetro, dominancia, especies, daños, distancia, rumbo, azimut y regeneración, estos sitios se remiden por lo menos dos veces cada cinco años (Corral-Rivas, 2013).

2.3 Curvas de crecimiento

La importancia de medir variables que se le pueden medir a un árbol como lo es el diámetro, la altura y volumen suelen ser acumulativas, de esta manera si representamos en forma gráfica su evolución en el tiempo tenemos como resultado una curva de crecimiento de forma sigmoidea que nos indica el crecimiento acumulado de las especies en tiempo determinado (Wabo, 2002).

2.4 Modelos de crecimiento y estudios relacionados

Existen varios estudios que han sido utilizados para la determinación del crecimiento en altura, en diámetro normal, en área basal y en volumen, en los cuales se han utilizado modelos de crecimiento como el de Schumacher, Weibull, Korf, entre otros.

González *et al.* (2016) realizaron un estudio, con base en análisis troncales, acerca de un modelo de crecimiento en la altura dominante para *Pinus pseudostrobus* Lindl., en el estado de Guerrero, en dicho estudio los autores reportaron que el modelo de Chapman-Richards fue el que mejor se ajustó con una $R^2= 0.9931$ y un $CME= 0.5873$.

Hernández *et al.* (2021) hicieron una investigación acerca de estimación del crecimiento de dos especies de *Pinus* de la Región Centro de Guerrero, México, en la cual utilizaron cuatro modelos, Chapman-Richards, Hossfeld I, Weibull y Schumacher para *Pinus pseudostrobus* Lindl y *Pinus oocarpa* Schiede ex Schltdl, y en el cual concluyen que el modelo de Schumacher es el mejor para el crecimiento en altura y diámetro normal de las

dos especies estudiadas. El modelo Schumacher también fue el mejor para predecir el área basal de *Pinus pseudostrobus* y el volumen de *Pinus oocarpa*. A su vez, el modelo Chapman-Richards fue el mejor modelo para predecir el crecimiento en área basal de *Pinus oocarpa* y el crecimiento en volumen de *Pinus pseudostrobus*. El turno físico del volumen predicho *Pinus oocarpa* se presentó a la edad de 65 años y para *Pinus pseudostrobus* a los 85 años.

Flores-Morales *et al.* (2019) realizaron un estudio donde estimaron el diámetro normal, altura y volumen en función del diámetro del tocón *Pinus pseudostrobus* Lindl., en Galeana, Nuevo León, en el cual concluyen que para estimar diámetro normal a partir del diámetro del tocón es confiable hacerlo por medio de una regresión lineal, ya que a través de esta se alcanzó estadísticos en $R^2 \text{ adj} > 90$ y $\text{REMC} = 2.2325$.

Por su parte, Tapia *et al.* (2011) en otro estudio sobre ajuste de modelos de volumen y funciones de ahusamiento para *Pinus pseudostrobus* Lindl., en bosques de pino de la Sierra Madre Oriental de Nuevo León, México, afirman que el mejor modelo para estimar volúmenes fustales totales en esta especie fue Schumacher y Hall con una $R^2 = 0.9501$ y un Error estándar (EEE) = 0.1385.

Otro trabajo relacionado con esta investigación es la de Vásquez *et al.* (2017) sobre volumen y biomasa aérea de *Pinus pseudostrobus* y *Pinus teocote* del sur de Oaxaca, en este estudio el mejor modelo para el volumen fue el de Schumacher-Hall, ya que presentó los mejores ajustes utilizando como variables predictoras el diámetro normal y la altura del árbol con un ajuste alto en $R^2 \text{ adj}$ (0.97 y 0.98; respectivamente).

2.5 Modelos de crecimiento

El modelo de Schumacher ha sido utilizado para describir el crecimiento de diferentes especies de pinos, calidad de sitio y determinar el turno, como un ejemplo existe un estudio de estimación del crecimiento de dos especies de *Pinus* de la Región Centro de Guerrero, México en el cual el turno físico del volumen predicho en *Pinus oocarpa* fue a la edad de 65 años y para *Pinus pseudostrobus* fue a los 85 años (Hernández *et al.*, 2021).

Avila-Perez *et al.* (2021) realizaron un estudio en Tépán de Galeana, Guerrero, sobre modelos de crecimiento en altura dominante y turno técnico para diferentes índices de sitio con la especie de *Pinus maximinoi* en donde se utilizan modelos como el de Chapman-Richards y Weibull, con $R^2= 0.58$ y $R^2= 0.64$ respectivamente, aunque ninguno de estos dos fue el mejor para el crecimiento en altura dominante para la especie estudiada, ya que el que mejor se ajustó fue Hossfeld I con $R^2=0.61$.

De igual manera, existen otros modelos que se utilizan en estudios de crecimiento, pero que son menos frecuentes, como lo son Chapman-Richards, Korf y Hossfeld IV que se utilizaron en este estudio (Cuadro 1).

Los criterios comunes para comparar modelos de regresión incluyen: cuadrados medios residuales (EEM), coeficiente de determinación (R^2), y coeficiente de determinación ajustado (R^2 adj). 2 SSE a veces se denomina SSR ambas notaciones se utilizan comúnmente en la literatura. SSE se utiliza aquí porque las salidas de SAS utilizan esta notación. Los cuadrados medios residuales (MSE), se definen como la suma residual de cuadrados (SSE) dividida por sus grados de libertad. Es una estimación de la varianza de Y (σ^2). MSE se calcula automáticamente cuando PROC REG o PROC se utiliza NLIN. Es más deseable un modelo con MSE pequeño (Sit *et al.*, 1994).

2.6 Turno

El turno forestal, o también llamado como turno óptimo, tiene muchas maneras de definirse; una de ellas es que este se refiere a la vida de la masa, o bien aquel turno que alcanza la máxima producción de una masa forestal o de un grupo de las mismas (Diaz-Balteiro, 1997).

El concepto de turno absoluto se refiere a la edad en la que una masa forestal o un bosque obtiene su máxima producción leñosa, esto sin que importe la calidad de sus productos, y esta se puede calcular a través de la culminación del ICA en volumen (Velarde, 2002).

Cuadro 1. Modelos no lineales comunes utilizados para estimar el crecimiento en altura, diámetro normal, área basal y volumen de diversas especies pino en México.

Modelo	Expresión	Especie	Lugar	Cita
Schumacher	$Y = b_0 \exp^{-b_1 \left(\frac{1}{E}\right)} + \varepsilon$	<i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl. <i>Pinus oocarpa</i> Schiede ex Schtdl.	(UMAFOR-1205), Sistema montañoso Sierra Madre del Sur en la región centro del estado de Guerrero.	Hernández <i>et al.</i> , (2021)
Hossfeld IV	$HD = \frac{a_0}{1 + \exp(a_1)\exp(-a_2 \ln E)}$	<i>Pinus ayacahuite</i> Ehren	Ixtlán de Juárez, Oaxaca, México	Hernández <i>et al.</i> , (2018)
Chapman-Richards	$H = b_0 \left(1 - e^{b_1 E^{b_2}}\right)$	<i>Pinus montezumae</i> Lamb.	Santiago Textitlán, Sola de Vega, Oaxaca	Pacheco <i>et al.</i> , (2016)
Weibull	$Y = b_0 \left(1 - \exp^{-b_1 E^{b_2}}\right)$	<i>Pinus rudis</i> Endl.	Sur de Nuevo León	Vargas (2015)
Modelo de Korf	$Y = \exp\left(b_0 \frac{b_1}{E^{b_2}}\right)$	<i>Pinus montezumae</i> Lamb.	Sureste de Hidalgo.	Hernández, (2012)

Dónde: Y, H, HD= Altura, b_0 , b_1 , b_2 = parámetros a ser estimados por medio del ajuste del modelo, ε = error aleatorio, E=edad, exp= exponencial, H= Altura, ln= logaritmo natural.

El turno técnico se puede definir como el tiempo necesario en el que una especie tarda en llegar a su etapa óptima, por la cantidad de productos extraíbles y que va a depender por diferentes factores naturales como lo son el clima, suelo o características de la especie (Mendoza, 1983).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

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

El área de estudio se ubica en el Ejido la Trinidad, Montemorelos, Nuevo León, entre las siguientes coordenadas: latitud 25° 13' 53" norte y longitud 100° 8' 34" oeste. Las muestras fueron colectadas en dos parajes, Laborcitas y Pilitas. Las altitudes oscilan entre 1530 y 2030 msnm (Figura 1).

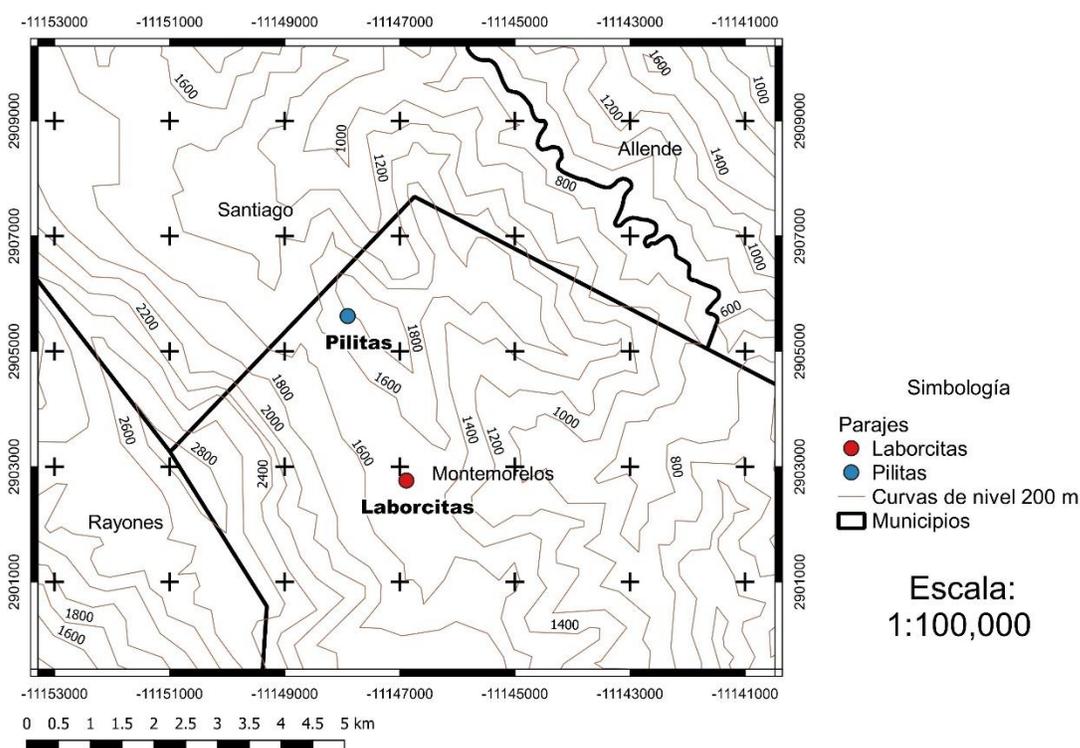


Figura 1. Ubicación geográfica de los rodales Laborcitas y Pilitas de *Pinus estevezii* (Mart.) Perry, en Montemorelos, Nuevo León.

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).

Litsoles: 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 (Parque Nacional Cumbres de Monterrey (PCM), 2006).

3.1.2 Clima

En el área predomina un clima semicálido con una temperatura promedio anual de 18° a 22 °C y por su grado de humedad, como subhúmedo; con lluvias intermedias en verano e invierno, de acuerdo con la nomenclatura de Köppen Modificado por García 1987 (Amaya *et al.*, 2019).

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 (CETENAL, 1977).

3.2 Análisis troncal

3.2.1 Elección de la muestra

Se eligieron nueve árboles de altura dominante, codominante e intermedia con base en la clasificación de Kraft. Además, se concentraron los datos de frecuencia por categoría diamétrica para determinar la categoría diamétrica de estos árboles.

Antes de realizar el derribo de los árboles seleccionados, se georreferenciaron la ubicación de los parajes donde se obtuvieron las muestras (Cuadro 1).

Cuadro 2. Ubicación geográfica de los parajes en los que se seleccionaron los árboles para los análisis troncales de *Pinus estevezii* (Mart.) Perry, en el Ejido la Trinidad, Montemorelos, Nuevo León.

Parajes	Latitud (Norte)	Longitud (Oeste)
Laborcitas	25° 13' 11.09"	100° 8' 3.09"
Las Pilitas	25° 14' 31"	100° 09' 19"

3.2.2 Derribo y troceo de los árboles.

Se derribaron un total de nueve árboles y se cortaron a una altura inicial de 0.3 m, a estos se les desramó el fuste para facilitar la medición y el largo al que se debía extraer cada sección, la cual se marcó con un crayón rojo, así como la longitud de la punta, misma que se registró en un formato. En dichas marcas se extrajeron las secciones transversales (rodajas) a la longitud deseada y de grosor que iba de cuatro a seis centímetros (cm). La primera rodaja se tomó a la altura del apeo (30 cm), la segunda se realizó a una altura de 2.74 m y las demás rodajas se cortaron de acuerdo con la medida de las trozas de dimensiones comerciales que son de ocho pies de largo (2.54 m). En las partes superiores del fuste las distancias entre las secciones fueron generalmente menores, posteriormente, en las secciones aserradas (rodajas) se anotó en el lado inferior la altura a la cual se hizo el corte; a cada uno de estos discos obtenidos se les marcó con un crayón la altura correspondiente. Por la cara contraria a donde se iban a medir los anillos de incremento, por último, se anotó en cada disco: el sitio, número

del árbol y se tomó una muestra botánica de la especie para cerciorarse de que fuera la especie correcta que la que se cortó.

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, Se utilizaron 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 se prepararon en el laboratorio para su análisis, se procedió a la medición de los anillos anuales de crecimiento. Esto se realizó en los lados superiores de las secciones transversales; se contaron los anillos de crecimiento y se hicieron las mediciones. Se midió el incremento en períodos de 5 o 10 años. En los árboles jóvenes de rápido crecimiento se consideró 5 años y para árboles viejos 10 años.

Se realizó 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 contaron los verticilos en renuevos de *Pinus estevezii* a la altura del tocón.

Se contaron los anillos completos en cada uno de los discos a las diferentes alturas y se anotaron en un formato. Acto seguido, se calculó la edad a la cual el árbol alcanzó sucesivamente las alturas a cada sección. Esto se hizo 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 fueron verificados donde se procesó, analizó la información y se elaboraron las gráficas.

El análisis posterior del desarrollo de la altura del árbol se efectuó mediante el desarrollo de su perfil interno. A través de la unión de los diferentes puntos determinados por

la edad, se pudo trazar una gráfica que representó el perfil del árbol, conocido como procedimiento tradicional.

Se determinó la edad total del árbol sumando el número de anillos en la sección del tocón (Nt) y el número de años necesarios para que la planta alcanzara la altura del tocón (At).

$$Et = Nt + At$$

Donde:

Nt = Número de anillos de crecimiento en el tocón.

At = Años necesarios para que el árbol alcanzara la altura del tocón.

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

Para una rodaja tomada a una altura hi :

$$Ei = Et - Ni$$

Donde:

Ei = Edad del árbol a la altura h .

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

3.3 Selección de modelos de crecimiento y validación

A partir del proceso anterior se eligieron cinco modelos que se utilizaron para estudios de diferentes especies de pino y para las cuatro variables (altura, diámetro normal, área basal y volumen) de la especie de *Pinus estevezii* (Mart.) Perry y se determinó el turno absoluto para cada una de ellas con base a estos cinco modelos, Schumacher, Weibull, Chapman-Richards, Korf y Hossfeld IV (Cuadro 2).

Cuadro 3. Modelos para estimar el crecimiento de *Pinus estevezii* (Mart.) Perry, en el Ejido la Trinidad, Montemorelos, Nuevo León.

Modelo	Expresión
Schumacher	$Y = B_0 \exp^{-b_1\left(\frac{1}{E}\right)} + \varepsilon$
Modelo de Korf	$Y = \exp\left(b_0 \frac{b_1}{E^{b_2}}\right)$
Weibull	$Y = \beta_0 \left(1 - \exp^{-\beta_1 E^{\beta_2}}\right)$
Chapman-Richards	$Y = B_0(1 - e^{B_1 E^{B_2}})$
Hossfeld IV	$HD = \frac{\beta_0}{1 + \exp(\beta_1)\exp(-\beta_2 \ln E)}$

Dónde: y = variable de estudio; $\beta_0, \beta_1, \beta_2$ = parámetros de regresión; E= edad; ε = error aleatorio; exp= exponencial; ln= logaritmo natural.

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:

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

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 3).

Cuadro 4. 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 nueve árboles varió entre 14 y 29.5 m, la cual mostró un coeficiente de variación de 23.8 % con una media de 22.7 m (Cuadro 1). El diámetro normal de los árboles presentó una media de 31.7 cm y un rango de 23.1 a 39.7 cm, con un coeficiente de variación de 21.2 %. El área basal presentó una media de 0.9002 m² y un rango que va de 0.2393 a 1.7461 m² con un coeficiente de variación de 0.1625. Por su parte, el volumen varió entre 0.0420 y 0.1237 m³, y presentó una media de 0.0806 m³, con un coeficiente de variación de 0.005 % (Cuadro 1).

Cuadro 5. Rango, media, error estándar y coeficiente de variación de las variables dasométricas de los árboles utilizados para el análisis troncal de *Pinus estevezii* (Mart.) Perry, en el Ejido la Trinidad, Montemorelos, Nuevo León.

Variables	Árboles (n)	Media	Mínimo	Máximo	Error estándar	Coeficiente de variación (CV) (%)
Altura (m)	9	22.76	14	29.5	5.1735	23.7913
Diámetro (cm)	9	31.70	23.1	39.7	4.8918	21.2709
Área basal (m ²)	9	0.9002	0.2393	1.7461	0.4276	0.1625
Volumen (m ³)	9	0.0806	0.0420	0.1237	0.0244	0.0005

4.1 Crecimiento y turno absoluto en altura

Los modelos probados para ajustar la relación entre la edad y la altura para la especie de *Pinus estevezii* obtuvieron estadísticos muy similares (Cuadro 2), ya que los valores de R² se encontraron entre 0.7179 hasta 0.9227, mientras que los valores de la R² adj fueron de 0.7108 hasta 0.9198 (Cuadro 2). De manera similar fue para los valores del CME y de aquellos de RCME. Cabe señalar que los cinco modelos ensayados fueron altamente significativos. El mejor modelo para determinar el turno absoluto en la variable de altura fue el de Weibull, ya que presentó los más altos valores de los coeficientes de determinación R²= 0.9227 y R² adj= 0.9198 de esta manera se rechaza la hipótesis nula, lo que indica que el modelo no lineal seleccionado muestra un nivel de confianza del 95%. Cabe señalar que el

modelo Chapman-Richards cumplió, también, con buenos valores de los coeficientes de determinación R^2 y R^2 adj, por lo que puede usarse para estimar el crecimiento en altura.

Cuadro 6. Modelos de crecimiento utilizados para la variable de altura de la especie de *Pinus estevezii* (Mart.) Perry, en el Ejido la Trinidad, Montemorelos, Nuevo León.

Modelo	Parámetro	Estimación	R^2	R^2 adj	CME	RCME	Pr>F
Schumacher	a	28.9615	0.9189	0.9169	17.1914	4.1462	<.0001
	b	19.9749					
Chapman-Richards	a	27.5645	0.9188	0.9170	15.5070	3.9379	<.0001
	b	0.2425					
	c	0.1					
Weibull	a	21.7274	0.9227	0.9198	16.5906	4.0732	<.0001
	b	0.00799					
	c	1.4593					
Hossfeld IV	a	-6.0758	0.7179	0.7108	18.2017	4.2663	<.0001
	b	1.46					
	c	-0.4525					
Korf	a	3.5672	0.9194	0.9164	17.3124	4.1608	<.0001
	b	11.7522					
	c	0.7603					

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.

La relación entre la edad y la altura a lo largo de los años de *Pinus estevezii* mostró que aumenta la edad conforme aumenta la altura (Figura 2 A). Se encontró un patrón de forma sigmoidea en donde la fase inicial presentó un crecimiento rápido, seguido de una fase de crecimiento que se estabiliza, después, al llegar a la madurez, se ralentiza (Figura 2 A).

Con base en el modelo Weibull se estimó el ICA e IMA. Estos incrementos se interceptaron a la edad de 22 años, en donde ocurre el turno absoluto para esta variable y a partir de esto la tasa de crecimiento tanto en ICA e IMA disminuye. El crecimiento más alto en ICA se presentó a los 13 años y en el caso del IMA ocurrió a los 22 años (Figura 2 B).

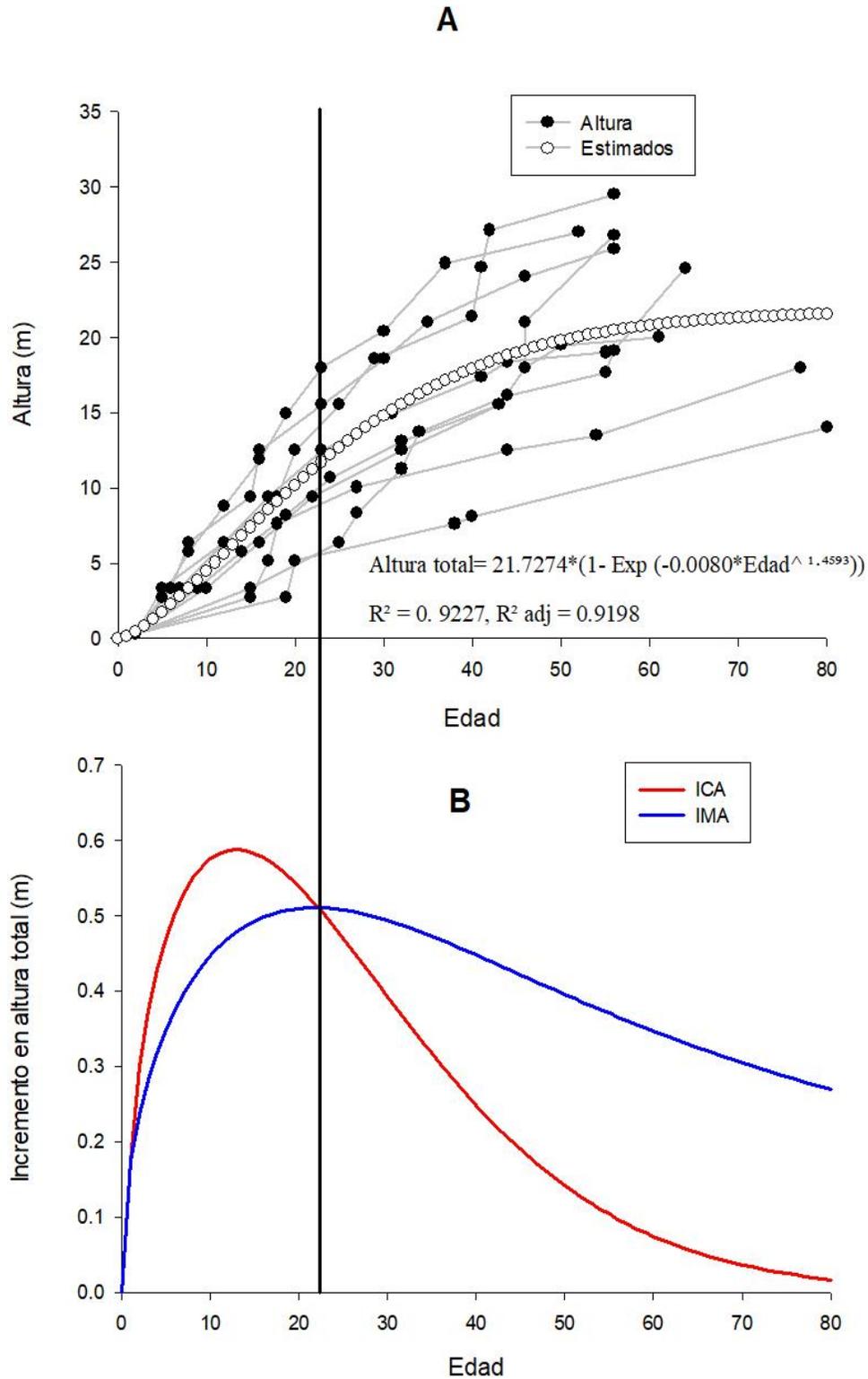


Figura 2. Valores de dispersión de altura con la edad y curva del modelo ajustado Weibull (A). Curvas de incrementos ICA e IMA de altura (B) de *Pinus estevezii* (Mart.) Perry en el Ejido la Trinidad, Montemorelos, Nuevo León.

2.1 Crecimiento y turno absoluto en diámetro normal

Los modelos analizados para ajustar la relación entre la edad y el diámetro para la especie de *Pinus estevezii* obtuvieron estadísticos muy parecidos (Cuadro 3), ya que los valores se encontraron entre 0.7942 hasta 0.9577 para el caso de la R^2 , mientras que para la R^2 adj fueron de 0.7867 hasta 0.9553 (Cuadro 3). De esta manera similar fue para los valores del CME y del RCME. Además de que los cinco modelos son altamente significativos. El mejor modelo para determinar el turno absoluto en la variable de diámetro fue el de Weibull, ya que presentó los valores más altos de los coeficientes de determinación $R^2= 0.9577$ y R^2 adj= 0.9553 de esta manera se rechaza la hipótesis nula, lo que indica que el modelo no lineal seleccionado muestra un nivel de confianza del 95%. Cabe mencionar que el modelo de Korf arrojó, también, buenos valores de los coeficientes de determinación R^2 y R^2 , por lo que también puede usarse para estimar el crecimiento en diámetro de *Pinus estevezii* (Mart.) Perry.

Cuadro 7. Modelos de crecimiento utilizados para la variable de diámetro de la especie de *Pinus estevezii* (Mart.) Perry, en el Ejido la Trinidad, Montemorelos, Nuevo León.

Modelo	Parámetro	Estimación	R^2	R^2 adj	CME	RCME	Pr>F
Schumacher	a	49.3436	0.9553	0.9516	23.3800	4.8361	<.0001
	b	30.408					
Chapman-Richards	a	76.789	0.9525	0.9510	20.4794	4.5254	<.0001
	b	0.0835					
	c	0.1000					
Weibull	a	32.2647	0.9577	0.9553	21.5798	4.6454	<.0001
	b	0.00205					
	c	1.7438					
Hossfeld IV	a	-21.0317	0.7942	0.7867	23.1666	4.8132	<.0001
	b	2.2604					
	c	-0.409					
Korf	a	4.2019	0.9558	0.9533	22.5486	4.7485	<.0001
	b	16.4786					
	c	0.7387					

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.

La relación entre la edad y el diámetro normal a lo largo de los años de *Pinus estevezii* mostró que conforme aumenta la edad aumenta el diámetro normal (Figura 3 A). Se halló un patrón

de crecimiento de forma sigmoidea, en donde la fase inicial presentó un crecimiento rápido, seguido de una fase de crecimiento que se estabiliza para después llegar a la fase de madurez donde se ralentiza (Figura 3 A).

De acuerdo con el modelo de Weibull se estimó el Incremento Corriente Anual (ICA) e Incremento Medio Anual (IMA), estos dos incrementos se interceptaron a la edad de 35 años, en donde ocurre el turno absoluto para esta variable y a partir de esto la tasa de crecimiento tanto en ICA como en IMA disminuye. El crecimiento más alto en ICA se presentó a los 35 años y para el caso del IMA ocurrió a los 22 años (Figura 3 B).

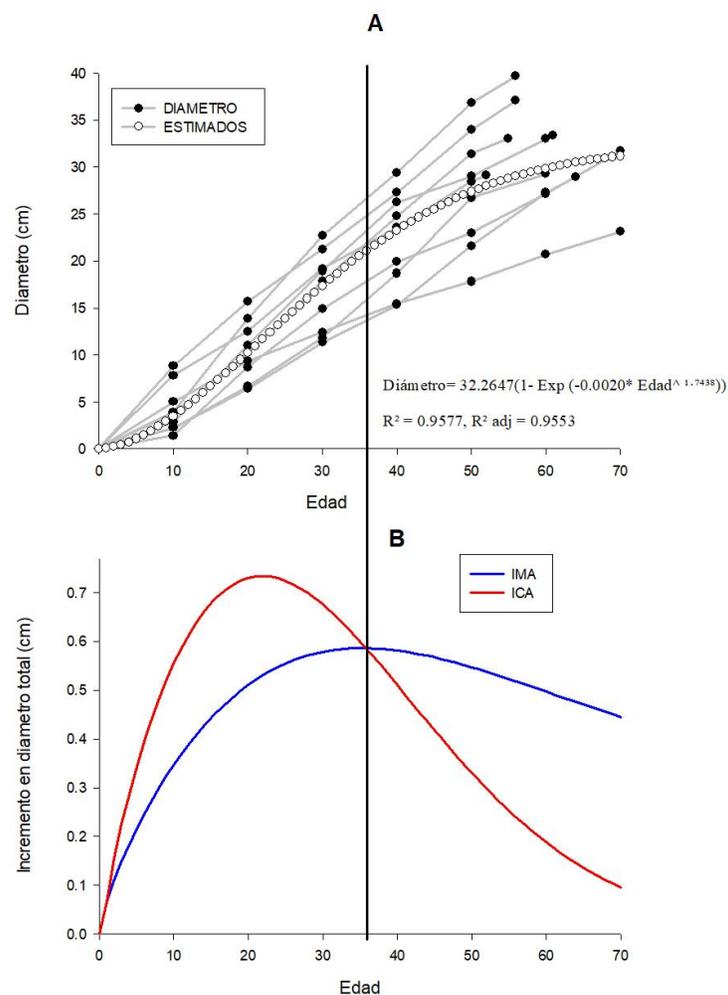


Figura 3. Valores de dispersión de diámetro con la edad y curva del modelo ajustado Weibull (A). Curvas de incrementos ICA e IMA de diámetro B) de *Pinus estevezii* (Mart.) Perry en el Ejido la Trinidad, Montemorelos, Nuevo León.

2.1 Crecimiento y turno absoluto en área basal

Los modelos ensayados para justar la relación entre la edad y el área basal para la especie de *Pinus estevezii* obtuvieron estadísticos similares (Cuadro 4), ya que se encontraron valores entre 0.0661 hasta 0.8776 para R^2 , mientras que los valores de R^2 adj fueron de 0.6553 hasta 0.8709 (Cuadro 2). De manera similar fue para los calores de CME y de RCME. Cabe señalar que los cinco modelos ensayados fueron altamente significativos. El mejor modelo para determinar el turno absoluto para la variable de área basal fue Weibull, ya que fue el que presentó lo más altos valores de los coeficientes de determinación $R^2= 0.8776$ y R^2 adj= 0.8709 de esta manera se rechaza la hipótesis nula, lo que indica que el modelo no lineal seleccionado muestra un nivel de confianza del 95%. Cabe señalar que el modelo Korf cumplió, también, con buenos valores de los coeficientes de determinación R^2 y R^2 adj, por lo que puede usarse para estimar el crecimiento en área basal *Pinus estevezii* (Mart.) Perry.

Cuadro 8. Modelos de crecimiento utilizados para la variable de área basal de la especie de *Pinus estevezii* (Mart.) Perry, en el Ejido la Trinidad, Montemorelos, Nuevo León.

Modelo	Parámetro	Estimación	R^2	R^2 adj	CME	RCME	Pr>F
Schumacher	a	0.1945	0.8672	0.8629	0.0003	0.0184	<.0001
	b	59.4652					
Chapman-Richards	a	-10978.7	0.8401	0.8379	0.0004	0.0201	<.0001
	b	1.02 E-06					
	c	0.1					
Weibull	a	0.0735	0.8776	0.8709	0.0003	0.0179	<.0001
	b	2.46 E-06					
	c	3.4873					
Hossfeld IV	a	-0.0191	0.6661	0.6553	0.0004	0.0191	<.0001
	b	-6.224					
	c	-0.9343					
Korf	a	-2.2778	0.8707	0.8637	0.0003	0.0184	<.0001
	b	1140.4					
	c	1.9688					

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.

La relación entre la edad y el área basal a lo largo de los años de *Pinus estevezii* mostró que, a medida que aumenta la edad, lo hace el área basal (Figura 4 A). Se encontró un patrón de crecimiento de forma sigmoidea en donde en la fase inicial presentó un crecimiento rápido, seguido de una fase de crecimiento que se estabiliza, después al llegar a la madurez se ralentiza (Figura 4 A).

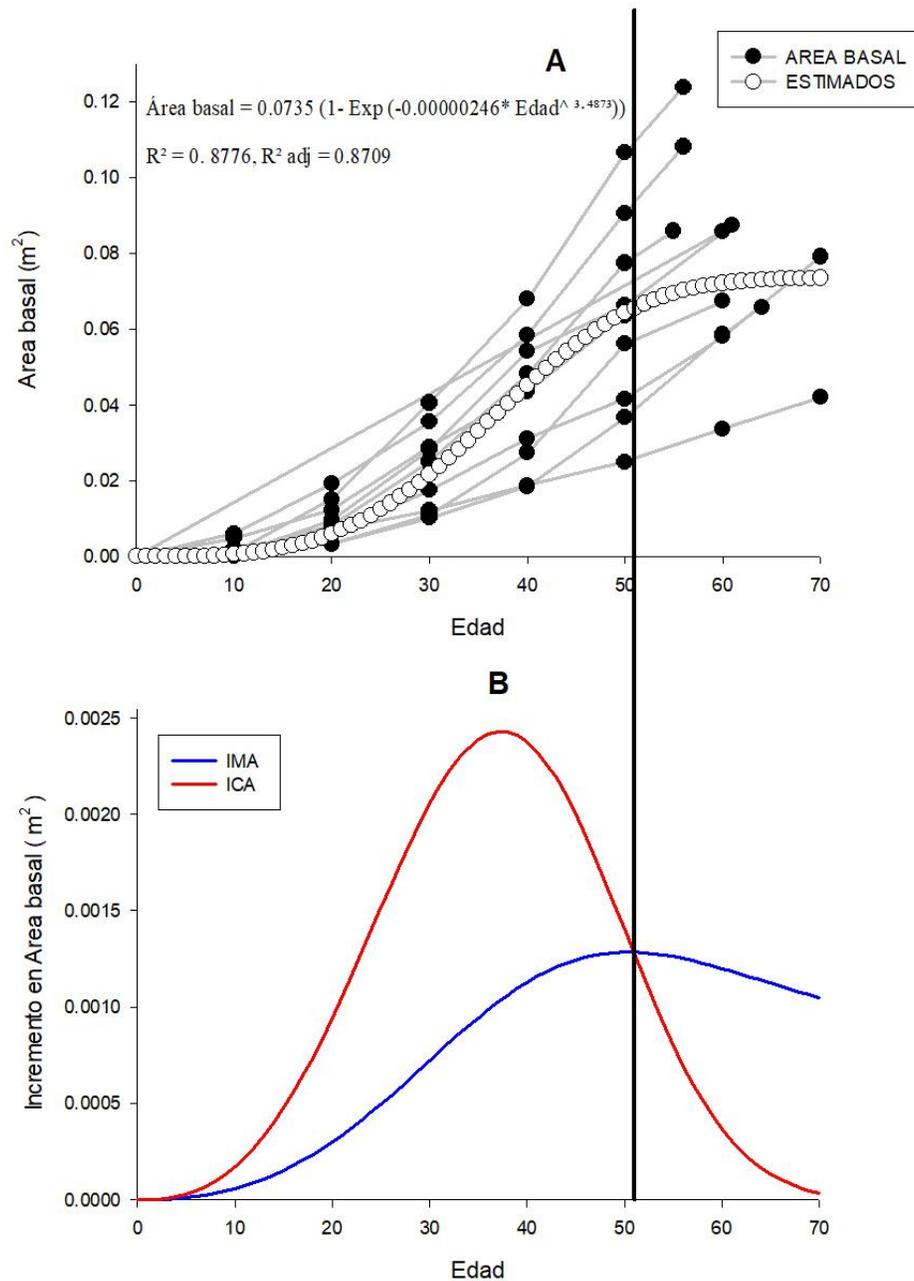


Figura 4. Valores de dispersión de área basal con la edad y curva del modelo ajustado Weibull (A). Curvas de incrementos ICA e IMA de área basal (B) de *Pinus estevezii* (Mart.) Perry en el Ejido la Trinidad, Montemorelos, Nuevo León.

Con base en el modelo de Weibull se estimó el ICA e IMA, estos dos incrementos se interceptaron a la edad de 51 años, en donde ocurre el turno absoluto para esta variable y a partir de esto la tasa de crecimiento tanto de ICA como de IMA disminuye. En el ICA el crecimiento más alto se presentó a la edad de 37 años, para el caso del IMA a la edad de 50 años (Figura 4 B).

2.1 Crecimiento y turno absoluto en volumen

Los modelos analizados para ajustar la relación entre la edad y el volumen para la especie de *Pinus Estevezii* obtuvieron estadísticos muy parecidos (Cuadro 5), ya que los valores se encontraron entre 0.4968 hasta 0.7523 para el caso de la R^2 , mientras para la R^2 adj fueron de 0.4784 hasta 0.7389 (Cuadro 5). De esta manera similar fue para los valores del CME y de RCME. Además de que los cinco modelos son altamente significativos. El mejor modelo para determinar el turno absoluto en la variable de volumen fue el de Korf, ya que presentó los valores más altos de los coeficientes de determinación $R^2= 0.7523$ y R^2 adj= 0.7389 de esta manera se rechaza la hipótesis nula, los que indica que el modelo no lineal seleccionado muestra un nivel de confianza del 95%. Cabe mencionar que el modelo de Schumacher se desempeñó, también con buenos valores de los coeficientes de determinación R^2 y R^2 , por lo que también puede usarse para estimar el crecimiento en volumen de *Pinus estevezii* (Mart.) Perry.

Cuadro 9. Modelos de crecimiento utilizados para la variable de volumen de la especie de *Pinus estevezii* (Mart.) Perry, en el Ejido la Trinidad Montemorelos, Nuevo León.

Modelo	Parámetro	Estimación	R^2	R^2 adj	CME	RCME	Pr>F
Schumacher	a	2.3164	0.7376	0.7281	0.0813	0.2851	<.0001
	b	67.7904					
Chapman-Richards	a	-0.5182	0.7090	0.6999	0.0777	0.2787	<.0001
	b	-0.1451					
	c	0.1000					
Weibull	a	0.7969	0.7360	0.7214	0.0833	0.2886	<.0001
	b	0.0000051					
	c	3.3578					
Hossfeld IV	a	-0.220183	0.4968	0.4784	0.0860	0.2933	<.0001
	b	-4.0711					
	c	-0.9836					
Korf	a	-0.095395	0.7523	0.7389	0.0781	0.2795	<.0001
	b	71768.196					
	c	3.129351					

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.

La relación entre la edad y el volumen a lo largo de los años de *Pinus estevezii* mostró que conforme aumenta la edad aumenta el volumen (Figura 5 A). Se halló un patrón de

crecimiento de forma sigmoidea en donde la fase inicial presentó un crecimiento rápido, seguido de una fase de crecimiento que se estabiliza para después llegar a la fase de madurez donde se ralentiza (Figura 5 A).

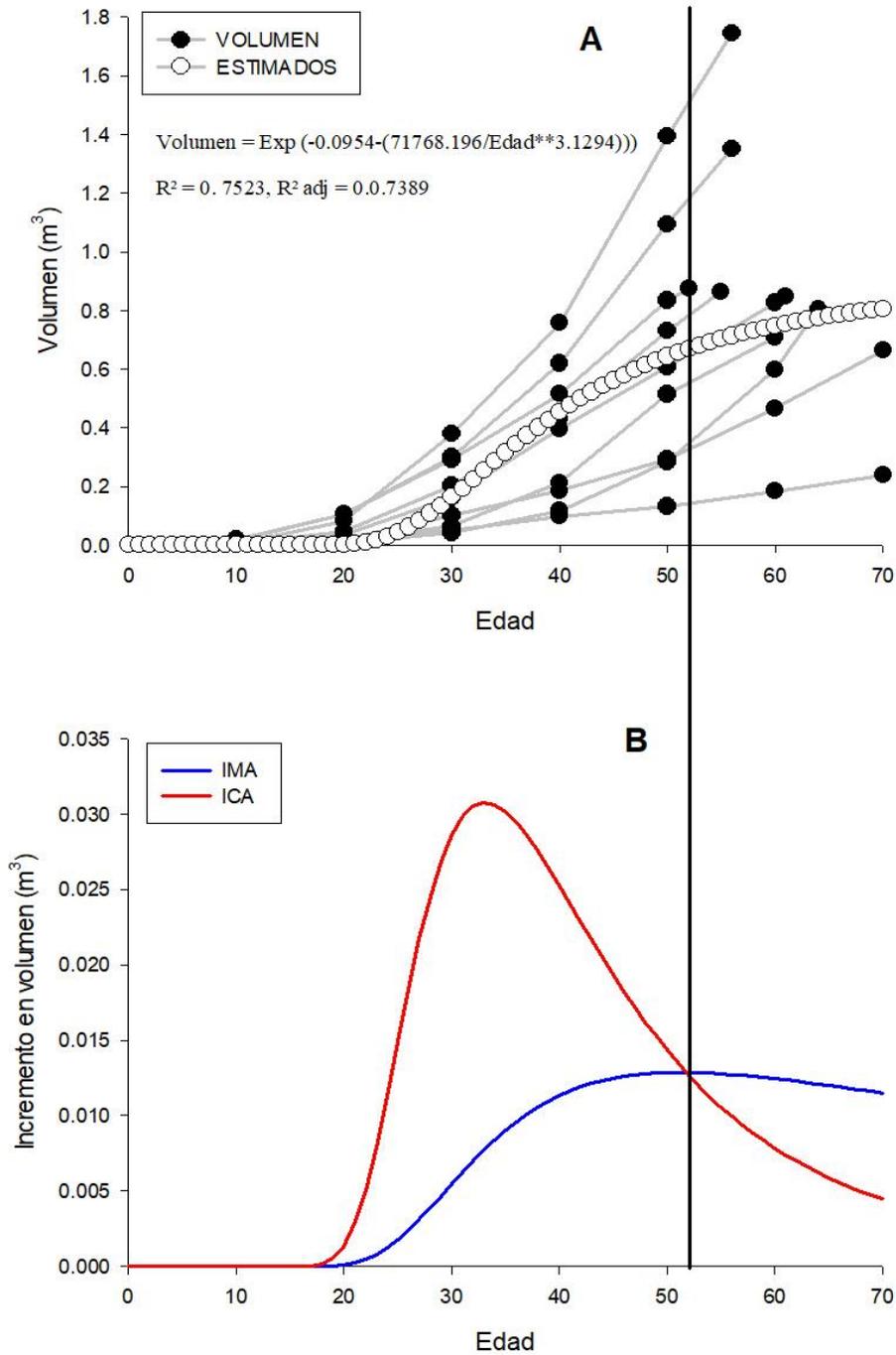


Figura 5. Valores de dispersión de volumen con la edad y curva del modelo ajustado Korf (A). Curvas de incrementos ICA e IMA de volumen (B) de *Pinus estevezii* (Mart.) Perry en el Ejido la Trinidad, Montemorelos, Nuevo León.

Con base al modelo de Korf se estimó el Incremento Corriente Anual (ICA) e Incremento Medio Anual (IMA), estos dos incrementos se interceptaron a la edad de 52 años, en donde ocurre el turno absoluto para esta variable y a partir de esto la tasa de crecimiento tanto en ICA como en IMA disminuye. El crecimiento más alto en ICA se presentó a los 33 años y para el caso del IMA ocurrió desde el año 50 hasta el año 53 (Figura 5 B).

5. DISCUSIÓN

5.1 Crecimiento y turno absoluto en altura

En este estudio, el modelo de Weibull fue el mejor modelo para describir la relación entre edad-altura de *Pinus estevezii*.

Por su parte, Hernández *et al.* (2021) afirman que el mejor modelo para estimar el crecimiento en altura para *Pinus pseudostrobus* Lindl. y *Pinus oocarpa* Schiede ex Schltdl., en la Unidad de Manejo Forestal 1205 en la Sierra Madre del Sur, en el estado de Guerrero, fue el de Schumacher; los autores reportaron valores de $R^2= 0.9275$ y 0.9695 , respectivamente. Sin embargo, Mares *et al.* (2004) hallaron que el mejor modelo que se ajustó para la variable de altura para *Pinus herrerae* Martínez en Ciudad Hidalgo, Michoacán fue el de Chapman-Richards; los autores encontraron valores en $R^2= 0.9845$ y $CME= 7.4891$; de la misma manera, Beteta-Montaña *et al.* (2022) afirman que el mejor modelo para la variable de altura para *Pinus oaxacana* en Ixtlán de Juárez, Oaxaca fue el de Chapman-Richards.

5.2 Crecimiento y turno absoluto en diámetro normal

En este estudio, el modelo de Weibull fue el mejor modelo para describir la relación entre edad-diámetro normal de *Pinus estevezii*. En contraste, con lo encontrado con Hernández *et al.* (2021), ya que hallaron que el mejor modelo para estimar el crecimiento en diámetro normal para *Pinus pseudostrobus* Lindl., y *Pinus oocarpa* Schiede ex Schltdl., en la Unidad de Manejo Forestal 1205 en la Sierra Madre del Sur, en el estado de Guerrero, fue el de Schumacher; los autores reportaron valores de $R^2= 0.7400$ y 0.8648 , respectivamente. Tamarit-Urias *et al.* (2021) hallaron que para la variable de diámetro normal en la especie de *Pinus montezumae* Lamb., en la Unidad de Manejo Forestal 2101 en la región “Ixta-Popo” en Puebla, el mejor modelo fue el de Korf esto a través de una ecuación dinámica; los valores que los autores reportan fueron de $R^2=0.9526$ y de $RCME= 2.5718$. Hernández *et al.* (2020) por su parte encontraron que para predecir el diámetro normal en la especie de *Pinus leiophylla* en el municipio de Guadalupe y Calvo en Chihuahua fue el modelo de Chapman-Richards; pero, para *Pinus lumholtzii* y *Pinus strobiformis* el mejor modelo fue el de Schumacher; los autores reportaron valores de $R^2= 0.9852$, 0.9570 y 9643 , respectivamente.

5.3 Crecimiento y turno absoluto en área basal

En este estudio, el modelo de Weibull fue el mejor modelo para describir la relación entre edad-área basal de *Pinus estevezii*.

Calvillo *et al.* (2005) encontraron que para predecir la relación entre edad-área basal de *Pinus herrerae* Martínez en Cd. Hidalgo, Michoacán, fue el modelo Logístico, ya que presentó el menor valor en CME (0.0003) y el valor más alto en R^2 (0.9374). Por su parte, Hernández *et al.* (2020) encontraron que para predecir el crecimiento en área basal de *Pinus leiophylla* el mejor modelo fue el de Chapman-Richards el cual presentó valores de $R^2 = 0.9853$ y RCME = 0.0041, para *Pinus strobiformis* y *Pinus lumholtzii* el mejor modelo fue el de Schumacher; los autores reportaron valores de $R^2 = 0.9787$ y RCME = 0.0052; así como $R^2 = 0.9682$ y RCME = 0.0059, respectivamente.

5.4 Crecimiento y turno absoluto en volumen

En este estudio, el modelo de Korf fue el mejor modelo para describir la relación entre edad-volumen de *Pinus estevezii*.

Sacramento-Corral *et al.* (2005) hallaron que para describir el crecimiento en volumen de un grupo de cinco especies de pino (*Pinus cooperi*, *Pinus duranguensis*, *Pinus engelmannii*, *Pinus leiophylla* y *Pinus herrerae*) en la región del Salto, Durango el mejor modelo fue el de Chapman-Richards el cual presentó valores de $R^2 = 0.9800$. Por su parte, Hernández *et al.* (2020) reportaron que para predecir el crecimiento en volumen de las especies de *Pinus leiophylla*, *Pinus strobiformis* y *Pinus lumholtzii* en la Unidad de Manejo Forestal 0808 Guadalupe y Calvo, Chihuahua el mejor modelo fue el de Schumacher el cual presentó valores en R^2 (0.9820) RCME (0.0475), R^2 (0.9809) RCME (0.0594) y R^2 (0.9753) RCME (0.0546) respectivamente.

6. CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados obtenidos en el presente estudio se concluye que se cumplió con los objetivos establecidos, ya que se pudo describir el crecimiento a través de las curvas de ajuste de los modelos no lineales, al igual que se definió el mejor modelo no lineal y la edad a la que se presenta el turno absoluto para cada una de las variables estudiadas de la especie de *Pinus estevezii* (Mart.) Perry.

De esta manera, la hipótesis nula se rechazó, ya que los modelos no lineales seleccionados se ajustan y son confiables para estimar el crecimiento de las cuatro variables dasométricas de *Pinus estevezii* (Mart.) Perry en un nivel de confianza del 95% en el ejido La Trinidad, Montemorelos, N. L.

El tamaño de muestra analizado fue pequeño, ya que como mínimo se deben considerar 30 árboles como lo citan varios autores para inferir en el área de distribución de la especie. Pese a ello los modelos que se obtuvieron, en este estudio, son confiables y precisos, como lo indicaron los criterios estadísticos utilizados en su selección.

7. RECOMENDACIONES

Al elegir el método de análisis troncal, se debe de realizar con tiempo, ya que se deben considerar todos los pasos que este conlleva, como lo es el corte y la obtención de muestras, secado, análisis en laboratorio, para que de esta manera la información obtenida sea confiable y precisa.

Se recomienda realizar más estudios acerca de la determinación del turno de *Pinus estevezii* (Mart.) Perry, ya que estos son muy escasos, por lo tanto, se es difícil compararlos con otros estudios que están relacionados o ligados a esta especie.

Los modelos utilizados en este estudio pueden ser aplicados como herramientas en el manejo y aprovechamiento de esta especie para una mejor toma de decisiones en cuanto a la conservación y uso de la misma.

Incrementar el tamaño de muestra en el área de distribución de la especie en el ejido La Trinidad, Montemorelos, N.L., para robustecer los modelos seleccionados en este estudio.

8. LITERATURA CITADA

- Ávila, A. R., Muñoz, G. L., Mireles, R. E. (2012). Manejo de una plantación forestal mixta en la planicie Huasteca. INIFAP, Centro de Investigación Regional del Noreste, Campo Experimental San Luis, San Luis Potosí, 32. <http://www.inifapcirne.gob.mx/Biblioteca/Publicaciones/908.pdf>
- Ávila-Pérez H., Fierros-Mateo, R., Nava-Nava A. (2021). Modelos de crecimiento en altura dominante y turno técnico para diferentes índices de sitio. *Foro de Estudios sobre Guerrero*. 2022. mayo 2021 - abril 2022 9 (2) 133 – 142. <https://revistafesgro.cocytieg.gob.mx/index.php/revista/article/view/832/625>
- Ayerde, L. D. (1996). Análisis de curvas de crecimiento de árboles y masas forestales. Tesis de maestría. Universidad Autónoma Chapingo, Texcoco, México, 255. <https://repositorio.chapingo.edu.mx/items/2b8ca263-887a-4a2a-8cf2-2b3686f4d06c>
- Bautista. M. J. M. (2001). Crecimiento e incremento en altura, diámetro, área basal y volumen de la regeneración de *Pinus rudis* Endl. en la Sierra las Alazanas, Arteaga, Coah. Tesis de licenciatura, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo, Coahuila, 70. <http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/841/57083s.pdf?sequence=1>
- Beteta-Montaño, E., Santiago-García, W., Rodríguez-Ortiz, G., Suárez-Mota, M. E., Aquino-Ramírez, M., Nava-Nava, A., & Ruiz-Aquino, F. (2022). Ajuste y validación de modelos de crecimiento en altura dominante e índices de sitio para *Pinus oaxacana* del sur de México. *Bosque* (Valdivia), 43 (3), 329–346. <https://doi.org/10.4067/s0717-92002022000300331>
- CETENAL. (1977). Carta Geológica. G14C46 Rayones. Esc. 1: 50, 000
- CONANP. (2006). Programa de conservación y manejo. Parque nacional cumbre de Monterrey, México, 179. FALTA CITA ELECTRONICA
- Parque Nacional Cumbres de Monterrey (PCM). (2006). Parque nacional cumbres de monterrey México, diciembre 2006, 179 p. <https://www.conanp.gob.mx/anp/consulta/Borrador%20PM%20PN%20Cumbres%20Mty%20para%20Consulta%20P%C3%BAblica%202020.pdf>

- Coronel de Renolfi, M. (2015). Determinación del turno forestal, bases teóricas y aplicaciones prácticas. Editorial, Edunse. Santiago del Estero, Argentina, 1-25. <https://www.unse.edu.ar/edunse/libros/coronel.pdf>
- Corral-Rivas, J. J., Vargas-Larreta, B., Wehenkel, C., Aguirre-Calderón, O. A., & Crecente-Campo, F. (2013). Guía para el establecimiento, seguimiento y evaluación de sitios permanentes de monitoreo en paisajes productivos forestales. Comisión Nacional Forestal. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, 83. https://forestales.ujed.mx/forestales/es/contenido/las_bayas/pdf/07b%20%20MONITOREO%20FORESTAL%202022%20PREDIO%20LAS%20BAYAS,%20GUIA.pdf
- Cortés, M. J. P. (2010). Crecimiento de diámetro y altura para tres plantaciones en Miahuatlán, Oaxaca. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Buenavista Saltillo, Coahuila, México, 59. <http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/958/61308s.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- DETENAL. (1977). Carta de Uso del Suelo. G14C46 Rayones. Esc. 1: 50,000.
- Díaz-Balteiro, L. (1997). Turno forestal económicamente óptimo: una revisión. *Revista Española de Economía Agraria*, 181-224. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2154067>
- Eguiluz, P. T. (1978). Ensayo de integración sobre el género *Pinus* en México. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Chapingo, México, 623.
- Farjon, A., Pérez de la Rosa, J. A., & Styles, B. T. (1997). Guía de campo de los pinos de México y América Central. The Royal Botanic Gardens Kew. Richmond, London, England. 151.
- Flores-Morales, E. A., Aguirre-Calderón, O. A., Quiñonez-Barraza, G., González-Tagle, M. A., & Jiménez-Pérez, J. (2019). Estimación del diámetro normal, altura y volumen de *Pinus pseudostrobus* Lindl. en función del diámetro del tocón. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 10 (55), 154-170.
- García-Cuevas, X., Rodríguez-Medina, R.E., Hernández-Ramos, J., Ruiz-Duque, H., Hernández-Ramos, A., & Sáenz-Reyes, J. T. (2024). Índice de sitio en plantaciones

- forestales de *Pinus oocarpa* Shiede en Michoacán, México. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios* 11(1), 16. <https://doi.org/10.19136/era.a11n1.3765>
- García, E. (1987). Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. UNAM. México, D.F, 217.
- Gernandt, D. S., & Pérez-de la Rosa, J. A. (2014). Biodiversidad de Pinophyta (coníferas) en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 85, 126–133.
- González, L. H. D. (1997). Calidad de sitio, crecimiento e incremento de la regeneración de *Pinus rudis* Endl. de la región de San José de la Joya, Galeana, Nuevo León. Tesis profesional. U.A.A.A.N., Buenavista, Saltillo, Coahuila. México. 70.
- 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://cienciasforestales.inifap.gob.mx/index.php/forestales/article/view/48>
- Hernández, R. A. (2012) Determinación de turno e índice de sitio para *Pinus montezumae* Lamb. en el sureste de Hidalgo. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo, Coahuila, 62.
- Hernández, R. J., García, C. X., Hernández, R. A., García, M. J. J., Muñoz, F. H. J., García, E. G. G., Samperio, J. M., & Hernández, V. J. A. (2014). Turnos técnicos para bosques naturales de *Pinus teocote* Schlecht. & Cham. en Hidalgo, México. *Revista Forestal Baracoa*, (35), 1-8. https://www.researchgate.net/publication/328290655_TURNOS_TECNICOS_PARA_BOSQUES_NATURALES_DE_Pinus_teocote_Schlecht_Cham_EN_HIDALGO_MEXICO
- Hernández-Ramos, J., García-Magaña, J. J., Olvera-Delgadillo, E. H., Velarde-Ramírez, J. C., García-Cuevas, X., & Muñoz-Flores, H. J. (2014). Índice de sitios para *Pinus greggii* Engelm. Plantaciones en Metztlán, Hidalgo, México, 20 (2), 167–176. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2013.04.016>

- Hernández-Cuevas, M., Santiago, G. W., De los Santos, P. H. M., Martínez, A. P., & Ruiz A. F. (2018). Modelos de crecimiento en altura dominante e índices de sitio para *Pinus ayacahuite* ehren. *Agrociencia*. Universidad de la Sierra Juárez. *Agrociencia*, 52 (3), 437-453. <https://www.scielo.org.mx/pdf/agro/v52n3/2521-9766-agro-52-03-437.pdf>
- 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>
- Imaña, E. J., & Encinas, B. O. (2008). *Epidimetría forestal*. (1.^a edición). Ed. Edikapas C.A, 66. https://repositorio.unb.br/bitstream/10482/9740/1/LIVRO_Epidometria_Forestal.pdf
- 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), 120-143. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v11i60.711>
- Joaquín, J. M. G. (2019). Atributos reproductivos y germinación de *Pinus pseudostrobus* Lindl bajo escenarios de cambio climático. Tesis de maestría. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia Michoacán, 67. http://bibliotecavirtual.dgb.umich.mx:8083/xmlui/bitstream/handle/DGB_UMICH/1811/FB-M-2019-0659.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Klepac, D. (1983). Crecimiento e incremento de árboles y masas forestales. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, México, 279. https://www.dicifo.chapingo.mx/pdf/publicaciones/crecimiento_e_incremento_klepac_dusan.pdf
- Lira, G. D. E. (2020). *Guía básica de Pinos Mexicanos*. Bozkia. Toluca, México. 137.
- Loera, M. J., & Sepúlveda, J. D. (2015). Parámetros de la productividad forestal en la producción de madera en rollo. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, México, 177-186. https://www.ecorfan.org/handbooks/Ciencias-ECOH-T_I/Handbook_Ciencias_Sociales_Economia_y_Humanidades_T1_V1_187_196.pdf

- López, H. J. A., & Valles, G. A. G. (2009). Modelos para la estimación del índice de sitio para *Pinus durangensis* Martínez en San Dimas, Durango. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 34 (105),187-197. <https://www.scielo.org.mx/pdf/cfm/v34n105/v34n105a10.pdf>
- López, M. C. E. (2015). Crecimiento en plantaciones de tres especies de pino a 20 años establecidas en Miahuatlán, Oaxaca. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila. 58. <http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/6825/63461%20LOPEZ%20MORENO%2c%20CLAUDIA%20ELIZABETH%20%20TESIS.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Márquez, G. A. V. (2007). Variación de conos y semillas de *Pinus pseudotrobus* Lindl. del Esquilón, Coacoatzintla, Veracruz, México. Tesis de maestría. Universidad Veracruzana. Xalapa, Veracruz, México, 42. <https://www.uv.mx/iif/files/2014/10/TESIS-MAESTRIA-Angel-Marquez-MC.pdf>
- Mendoza, B. M. A. (1983). Conceptos básicos de manejo forestal. Universidad Autónoma de Chapingo. Chapingo, Estado de México, México, 118.
- Musalem, S. M. A. (2006). Silvicultura de Plantaciones Forestales. Primera Edición. Universidad Autónoma Chapingo. México, 314.
- Pacheco, A. G., Santiago, J. W., Martínez, S. D., & Ortiz, B. 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*, Xalapa, México, 18 (2), 21-28. <https://www.redalyc.org/journal/497/49748829003/html/>
- Perry, J. P. (1982). The taxonomy and chemistry of *Pinus estevezii*. *Journal of the Arnold Arboretum*, 63(2), 187–198. <https://www.jstor.org/stable/43817454>
- Prodan, M., R, Peters., Cox, F., & P, Real. (1997). Mensura forestal. Proyecto IICA/GTZ, sobre agricultura, recursos naturales y desarrollo sostenible. San José de Costa Rica, 586.

- Ramírez, H. M. (2017). Manual para la elaboración de programas de manejo forestal maderable en clima templado frío. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, México, 110. <https://app.bibguru.com/p/a095f3d8-9c64-4db9-9749-1db11a7b130d>
- Ríos, C. J. M., Aguirre, C. O. A., Treviño, G. E. J., Jiménez, P. J., Alanís, R. E., & Manuel de los Santos, P. 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), 81-108. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v12i67.997>
- Sánchez, G. A. (2008). Una visión actual de la diversidad y distribución de los pinos de México. *Madera y Bosques*, 14 (1), 107-120. <https://doi.org/10.21829/myb.2008.1411222>
- Santiago-García, W., De los Santos-Posadas, H. M., Ángeles-Pérez, G., Valdez-Lazalde, J. R., Corral-Rivas, J. J., Rodríguez-Ortiz, G., & Santiago-García, E. (2016). Modelos de crecimiento y rendimiento de la totalidad del rodal para *Pinus patula*. *Madera y bosques*, 21 (3), 95-110. <https://doi.org/10.21829/myb.2015.213459>
- SEMARNAT. (2023). NOM-152-SEMARNAT-2023. Que establece los criterios y especificaciones del contenido de los programas de manejo forestal sustentable para el aprovechamiento de recursos forestales maderables en bosques, selvas y vegetación de zonas áridas. https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5696430&fecha=24/07/2023#gsc.tab=0
- Sit. V. & Poulin, C. M. (1994). Catalog of Curves for Curve Fitting. Biometrics Information Handbook 4. Forest Science Research Branch Ministry of Forests. Victoria B.C. Canada. 110 p.
- Tapia, J., & Navar, J. (2011). Ajuste de modelos de volumen y funciones de ahusamiento para *Pinus pseudostrobus* lindl. en bosques de pino de la sierra madre oriental de Nuevo León, México. *Foresta veracruzana*. Xalapa, México, 3 (2), 19-28. <https://www.redalyc.org/pdf/497/49721457004.pdf>
- Vargas-Larreta, B., Aguirre-Calderón, O. A., Corral-Rivas, J. J., Crecente-Campo, F., & Diéguez-Aranda, U. (2013). Modelo de crecimiento en altura dominante e índice de

- sitio para *Pinus pseudostrobus* Lindl. en el noreste de México. *Agrociencia*, 47, 91-106. <https://www.scielo.org.mx/pdf/agro/v47n1/v47n1a8.pdf>
- Vásquez-Fabián, A. S., Rodríguez-Ortiz, G., Enriquez- del Valle, J. R., Campos-Angeles, G. V., & Santana-Flores A. (2017). Volumen y biomasa aérea de *Pinus pseudostrobus* y *P. teocote* del sur de Oaxaca. *Revista mexicana de Agroecosistemas*, 4 (2), 164-172. <https://revistaremaeitvo.mx/index.php/remae/article/download/143/125>
- Velarde, R. J. C. (2002). Estudio de crecimiento y elaboración de volumen para *Pinus lawsoni* k y *Pinus oocarpa*. Diplomado: “aprovechamiento, conservación y restauración de los recursos forestales”. Universidad Autónoma Chapingo, Estado de México, 72.
- Velazco-Macías, C. G., Foroughbakhch-Pournavab, R., Alanís-Flores, G. F., & Alvarado-Vázquez, M. A. (2008). *Magnolia dealbata* en Nuevo León, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. 79 (2), 459- 463. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-34532008000200020#:~:text=dealbata%20en%20Nuevo%20Le%C3%B3n%2C%20durante,junio%20y%20principios%20de%20julio
- Wabo, E. (2002). Crecimiento de árboles. Universidad Nacional de La Plata, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, 4. https://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/pluginfile.php/76159/mod_folder/content/0/Material%20basico/04_Crecim_arbol%20%281%29.pdf?forcedownload=1