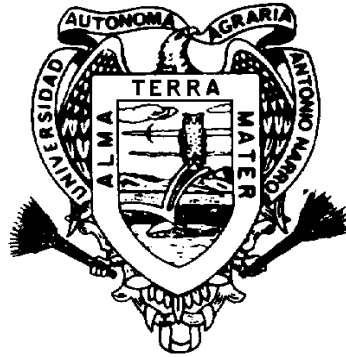


UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA

ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA



Crecimiento e Incremento en Regeneración de *Pinus estevezii* (Mtz) Perry y su Relación con Características Ambientales al Sur de Nuevo León

Por :

MEQUEAS GONZÁLEZ ZÁRATE

TESIS

**Presentada como Requisito Parcial para
Obtener el Título de:**

INGENIERO AGRÓNOMO FORESTAL

Buenavista , Saltillo, Coahuila, México.

Mayo de 2000

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO FORESTAL

Crecimiento e Incremento en Regeneración de *Pinus estevezii* (Mtz)
Perry y su Relación con Características Ambientales al Sur de
Nuevo León

POR

MEQUEAS GONZÁLEZ ZÁRATE

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO FORESTAL

APROBADA POR:

PRESIDENTE DEL JURADO

COORDINADOR DE LA DIVISIÓN

ING. CELESTINO FLORES LÓPEZ

M.C. REYNALDO ALONSO VELAZCO

BUENAVISTA, SALTILLO, COAHUILA, MÉXICO
MAYO DE 2000

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE FORESTAL

Crecimiento e Incremento en Regeneración de *Pinus estevezii* (Mtz)
Perry y su Relación con Características Ambientales al Sur de
Nuevo León

POR

MEQUEAS GONZÁLEZ ZÁRATE

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO FORESTAL

APROBADA POR:

PRESIDENTE DEL JURADO

ING. CELESTINO FLORES LÓPEZ

PRIMER SINODAL

M.C. SALVADOR VALENCIA MANZO

SEGUNDO SINODAL

DR. JORGE S. MARROQUÍN
DE LA FUENTE

BUENAVISTA, SALTILLO, COAHUILA, MÉXICO
MAYO DE 2000

DEDICATORIA**A mis queridos padres:**

Juan Y Alipia *Porque sobran razones y faltan palabras para describir su humilde y tan grande esfuerzo para alcanzar lo que hasta hoy he logrado, también por su comprensión y sus buenos consejos, sin faltar sus bendiciones que encaminaron a mis hermanos y a mí a buscar otras latitudes.*

A mis hermanos:

Eymard, Jere, Libo, Eva, Chayo, Checo y Vín.

Por su gran apoyo y confianza, ojalá que en el trabajo y en el estudio sea el motivo de cada vez ser mejores.

A mis cuñadas:

Dora *Por su incansable trabajo social, por el apoyo incondicional y humildes muestras de aprecio, para con los que te queremos.*

También a Mary y Carmen.

A los pequeños, mis sobrinos:

Eymard K. Juanito, Iztacc, Zuleima, Jhosa y Lucy
Por sus alegrías infantiles.

A Hilda. *Por todo tu apoyo incondicional. ¡Viva el amor que nació de manera inesperada!.*

A mis apreciables amigos:

Floridalma C., J. Antonio Guillén, Juan Jarkín, Rubén Aragón, Virgilio, Gerardo y Jhanette y al Profr. Víctor Ramírez y familia.

Sinceramente este trabajo a todos ellos y a los que en este momento mi mente deja escapar, sea pues este un pequeño homenaje.

AGRADECIMIENTOS

A DIOS: por llenarme de Fe y de esperanzas.

A MI ALMA MATER: LA UNIVERSIDAD ANTONIO NARRO por tan noble causa.

Al ING. CELESTINO FLORES LÓPEZ, por su amistad y por encaminar el presente trabajo con responsabilidad.

Al M. C. SALVADOR VALENCIA MANZO al haberme proporcionado su ayuda y valiosas observaciones al presente trabajo.

AL DR. JORGE SAUL MARROQUÍN DE LA FUENTE, por el estímulo de su crítica y consejos me han sido extremadamente provechosos.

A JOSÉ A. SERRATO CORTEZ. Compañero y amigo de la LXXXVII generación de Ingenieros Agrónomos Forestales.

A todos quiero expresar mis más sinceras gracias.

ÍNDICE DE CONTENIDO

	Página
ÍNDICE DE CUADROS	iv
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vi
RESUMEN	viii
1 INTRODUCCIÓN	1
1.1 Objetivos	3
2 REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1 <i>Pinus estevezii</i> (Mtz) Perry	4
2.2 Crecimiento de los árboles forestales	5
2.2.1 Anillos de crecimiento de las coníferas	6
2.2.2 Crecimiento en altura	8
2.2.3 Crecimiento en diámetro	9
2.2.4 Crecimiento en área basal	11
2.2.5 Crecimiento en volumen	13
2.3 Análisis troncal	14
2.4 Curvas de crecimiento e incremento	15
2.5 Modelos de crecimiento	15
2.6 Dinámica de crecimiento de la regeneración	17
2.7 Productividad de sitios	20

	30
3 MATERIALES Y MÉTODOS	24
3.1 Descripción del área de estudio.....	24
3.2 Vegetación predominante en la región de estudio.....	29
3.3 Trabajos de campo	33
3.3.1 Registro de datos	33
3.3.2 Obtención de rodajas para el análisis troncal...	34
3.4 Trabajos de laboratorio	35
3.4.1 Acondicionamiento de rodajas	35
3.4.2 Análisis troncal	35
3.5 Procesamiento y cálculo de las variables de crecimiento e incremento.....	36
3.6 Modelos de crecimiento e incremento	40
3.7 Análisis estadístico	41
3.7.1 Selección de modelos de crecimiento e incremento	41
3.8 Construcción de familias de curvas para índices de crecimiento	45
3.9 Correlación de las características fisiográficas y climáticas con índices de crecimiento.....	46
4 RESULTADOS Y DISCUSIONES	48
4.1 Crecimiento e incremento de las variables dasométricas	48

	31
4.1.1	Altura 48
4.1.2	Diámetro 54
4.1.3	Área basal 58
4.1.4	Volumen 64
4.2	Construcción de curvas anamórficas de índice de crecimiento..... 67
4.2.1	Índice de crecimiento en altura dominante..... 67
4.2.2	Determinación de índices en altura para los rodales evaluados..... 69
4.2.3	Índice de crecimiento en diámetro..... 72
4.2.4	Índice de crecimiento en área basal..... 73
4.2.5	Índice de crecimiento en volumen 76
4.3	Correlación de factores fisiográficos y climáticos e índices de crecimiento..... 76
5	CONCLUSIONES 80
6	RECOMENDACIONES 82
7	LITERATURA CITADA 84
	APENDICES 88

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro No.	Página
1 Modelos de crecimiento utilizados en diferentes estudios forestales	18
2 Localización y caracterización de rodales estudiados al Sur de Nuevo León.....	26
3 Efectos climáticos de las localidades estudiadas al Sur de Nuevo León.....	27
4 Tipos de climas importantes de la región estudiada.....	28
5 Aspectos edafológicos y geológicos de la región	30
6 Cálculo de incrementos	39
7 Modelos de crecimiento	40
8 Modelos de incremento.....	41
9 Análisis de varianza de los modelos de crecimiento utilizados en la relación edad altura dominante.....	49
10 Análisis de varianza de los modelos de crecimiento utilizados en la relación edad diámetro.....	55
11 Análisis de varianza de los modelos de crecimiento utilizados en la relación edad área basal.....	60
12 Análisis de varianza de los modelos de crecimiento utilizados en la relación edad volumen	65

	33
13 Valores de índice en altura a la edad base de 14 años y su respectivo coeficiente de proporcionalidad.....	69
14 Alturas estimadas por edad e índice en altura a una edad base de 14 años.....	70
15 Índices de altura por rodal	72
16 Valores de correlación de Pearson (r) significativos entre factores fisiográficos e índices de sitio.....	78

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura No.	Página
1 Localización del área de estudio.....	25
2 Curva ajustada entre edad y altura para <i>Pinus estevezii</i> en diferentes localidades al Sur del Estado de Nuevo León.....	51
3 Curvas de ajuste de incremento corriente anual ICA y medio anual IMA para altura dominante de regeneración de 1.30 m de altura en <i>Pinus estevezii</i>	53
4 Curva de ajuste entre edad y diámetro a la base para <i>Pinus estevezii</i> en diferentes localidades al Sur del Estado de Nuevo León.....	57
5 Curvas de ajuste de incremento corriente anual ICA y medio anual IMA en diámetro a la base en regeneración de <i>Pinus estevezii</i>	59
6 Curva de ajuste entre edad y área basal para <i>Pinus estevezii</i> de diferentes localidades al Sur del Estado de Nuevo León.....	62
7 Curvas de ajuste de incremento corriente anual ICA y medio anual IMA en área basal de regeneración de <i>Pinus estevezii</i>	63

8	Curva de ajuste entre edad y volumen sin corteza en <i>Pinus estevezii</i> de diferentes localidades al Sur del Estado de Nuevo León.....	66
9	Curvas ajustadas de incremento corriente anual ICA y medio anual IMA en volumen sin corteza de regeneración de <i>Pinus estevezii</i>	68
10	Curvas anamórficas de índice de crecimiento en altura para la regeneración de <i>Pinus estevezii</i> a la edad base de 14 años, al Sur del Estado de Nuevo León	71
11	Curvas anamórficas de índice de crecimiento en diámetro para la regeneración de <i>Pinus estevezii</i> a la edad de 14 años, al Sur del Estado de Nuevo León	74
12	Curvas anamórficas de índice de crecimiento en área basal para la regeneración de <i>Pinus estevezii</i> a la edad de 17 años, al Sur del Estado de Nuevo León	75
13	Curvas anamorficas de índice de crecimiento en volumen para la regeneración de <i>Pinus estevezii</i> a la edad de 19 años, al Sur del Estado de Nuevo León.....	77

Crecimiento e incremento en regeneración de *Pinus estevezii* (Mtz) Perry, y su relación con características ambientales al Sur de Nuevo León.

En la región de estudio se localizaron 24 rodales distribuidos en el área. Se aplicó un muestreo selectivo, se seleccionaron de 5 a 6 árboles que tuvieran una altura no menor de 1.30 m. Mediante el procedimiento de análisis troncal se obtuvo información de edades, diámetros y alturas de 130 árboles. Se compararon diez modelos matemáticos aplicados al crecimiento forestal para las características de altura, diámetro, área basal y volumen respectivamente, y siete modelos de incrementos para conocer las bondades de ajuste para los incrementos corrientes anuales (ICA) y medios anuales (IMA) de las características antes mencionadas.

Los modelos de mejor ajuste se seleccionaron considerando el análisis de residuales y los estadísticos como valores mínimos de suma de cuadrados residuales (SCR), cuadrado medio residual (CMR), mayor coeficiente de determinación (R^2), coeficiente de variación (CV), raíz cuadrada del cuadrado medio del error (\sqrt{CME}) e Índice de Furnival.

Los modelos seleccionados que presentaron mejores ajustes fueron: el de Chapman-Richards para altura dominante, para diámetro el modelo electo fue Weibull; en área basal y volumen el modelo fue el de Schumacher. Para el caso de los modelos de incremento el que mostró mejor ajuste fue el número 7 ($\text{Log } Y = \beta_0 + \beta_1 \log X + \beta_2 X^{\beta_3}$) para los incrementos de (ICA) e (IMA) en las cuatro variables.

Por el método de la curva guía se desarrolló la familia de curvas de índices de crecimiento. La edad base, se obtuvo como referencia el punto máximo del incremento medio anual, que para índice en altura dominante y diámetro resultó a los 14 años de edad, mientras que el índice en área basal fue a los 17 años y para volumen a los 20 años de edad. A partir de esta se definieron cinco curvas.

Dentro de las correlaciones realizadas se encontró correlación positiva entre la altura (IH) con el diámetro (ID), área basal (IAB) y con el volumen (IV); el diámetro (ID) se correlacionó positivamente con el área basal (IAB) y el área basal con el volumen (IV).

La longitud geográfica (LONG) presentó correlación ($r = 0.44$) entre el índice de altura (IH) significativa de ($\text{Pr} > 0.03$), también la latitud presentó correlación negativa ($r = -0.43$) con el índice de crecimiento en diámetro (ID), fue significativa de ($\text{Pr} > 0.036$).

1 INTRODUCCIÓN

Los estudios de crecimiento e incremento de árboles y rodales es una etapa importante de su manejo, que amerita la aplicación de sistemas silvícolas para su control. Solamente podrán tomarse decisiones racionales sobre intensidad y época de aclareo, si se pudiera cuantificar la respuesta de los bosques a estas operaciones, ya que dichos estudios son los medios utilizados para este fin.

El aprovechamiento de los recursos debe basarse en su previo conocimiento, así como del aporte de otras disciplinas con la finalidad de tomar decisiones válidas. Se trata de asegurar la continuidad de los bosques buscando un rendimiento sostenido que permita utilizar de la mejor manera las condiciones existentes en el área forestal.

La ausencia de investigaciones en el manejo forestal en los países en vías de desarrollo es notoria. La gran diversidad de

especies arbóreas y la diferenciación entre los porcentajes de abundancia, así como la estructura de los bosques naturales, permiten encaminar estudios enfocados a conocer directamente los aspectos ecológicos y la dinámica de crecimiento de los árboles.

En México, la forma típica de la vegetación forestal corresponde a los bosques de coníferas y de latifoliadas, localizados en las regiones templadas y frías de las zonas montañosas. Este tipo de vegetación reúne aproximadamente 27.5 millones de hectáreas y produce más del 90% de la madera aprovechada. De acuerdo con este aprovechamiento se distribuye el 93% en especies de coníferas, principalmente *Pinus*. También en estos bosques nativos, el número de especies es extremadamente amplio, en México se localizan, en la actualidad, 52 especies de *Pinus* y más de 200 de *Quercus*.

El presente trabajo, está encaminado a obtener un conocimiento del crecimiento e incremento de árboles de *Pinus estevezii* en etapa de regeneración y sin competencia, mediante la metodología de análisis troncal, y con el uso de modelos matemáticos describir las formas de crecimiento.

1.1 Objetivos:

Los objetivos para el presente trabajo son:

- 1). Conocer el crecimiento e incremento de la regeneración de *Pinus estevezii* de la región Sur del Estado de Nuevo León a través de un análisis troncal, para las características de altura, diámetro, área basal y volumen.

- 2). Conocer la relación entre características de crecimiento en altura, diámetro, área basal y volumen con variables ambientales.

2 REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 *Pinus estevezii* (Mtz) Perry

Pinus pseudostrobus Var *estevezii* Mtz. (1948)

Árbol de altura mediana, entre 15 a 20 m, y fuste de 75 a 100 cm de diámetro normal, de copa espesa y redondeada, a menudo con ramas bajas y horizontales. Los árboles jóvenes tienen una apariencia arbustiva espesa y ligeramente piramidal, mientras que los maduros tienen corteza escamosa de color rojizo, por dentro dividida externa y longitudinalmente por placas profundas verticales, horizontales y agrietadas (Perry, 1991).

Las hojas se presentan en grupos de 5, excepcionalmente 4 en algunos fascículos, de 20 a 36 cm de largo pero más comúnmente de 20 a 30 cm, triangulares, de color verde brillante, algo tiesas y ásperas con los bordes comúnmente aserrados. Vainas de 15 a 30 mm de color castaño cuando jóvenes y cenicientas después. Conos largamente ovoides, acuminados, oblicuos, asimétricos y reflejados de 10 a 13 cm de largo, de color café amarillento,

levemente lustrosos; colocados por pares o en grupos de 3 ó 4, en pedúnculos de 10 mm; los cuales al caer el cono, quedan en la ramilla con algunas escamas basales. Escamas duras y fuertes, de ápice anguloso o redondeado, quilla transversal muy fuerte y levantada; apófisis subpiramidal, levantada unos 7 mm en las escamas externas, cúspide cenicienta, con espinita extendida, fuerte y persistente, de 1 a 1.55 mm; semilla morena, casi oval, de unos 7 mm con ala de 25 mm de largo por 9 de ancho (Martínez, 1948).

Esta especie se distribuye únicamente en el Noreste de México en los Estados de Coahuila, Nuevo León y Tamaulipas. Se desarrolla en altitudes que van de los 800 a los 1800 metros, asociada con *Pinus cembroides* y *Pinus arizonica* var. *stormiae*, con precipitaciones de 300 a 400 mm anuales, cuya mayor frecuencia va de junio a septiembre (Perry, 1991).

2.2 Crecimiento de árboles forestales

El crecimiento es el incremento gradual de un organismo población u objeto en un tiempo determinado o período. El crecimiento de los árboles individuales está influido por sus características genéticas y su interrelación con el medio ambiente, factores climáticos, suelo y de características topográficas. La conformación general de la corona de cada árbol

depende de la especie, su variedad, edad, composición, densidad y calidad de la localidad en la cual está creciendo, pero presenta mejor forma en árboles que se encuentran creciendo en localidades abiertas donde la corona no ha sido modificada por la competencia o daño (Hocker, 1984).

Los primeros 10 a 15 anillos de crecimiento anual de las coníferas, que se encuentran cerca de la médula de cualquier entrenudo, tienen características anatómicas especiales que se diferencian de los anillos subsiguientes de madera en estado maduro. Es decir, que existe un corazón de madera juvenil a lo largo del árbol, y que las características de esa madera se relacionen de modo estricto con la edad. En un árbol de 10 a 15 años de edad toda la madera es de tipo juvenil, de manera que la cantidad de ésta depende de la tasa de crecimiento del árbol, la que a su vez depende en gran parte, del vigor y tamaño de la copa viva del árbol. Después de los 10 a 15 años de edad, los anillos anuales de madera tienen características "juveniles" en la porción superior del tronco y "maduras" en la porción inferior (Daniel *et al.*, 1982).

2.2.1. Anillos de crecimiento de las coníferas

La formación de anillos anuales está afectada indirectamente por un conjunto de factores ambientales que impiden o alteran el

crecimiento de la copa del árbol. Algunos elementos ambientales que afectan dicha formación son la intensidad de la luz, la temperatura y la defoliación por insectos o granizo. En algunas regiones áridas donde la sequía es intensa la cantidad de humedad del suelo puede limitar el crecimiento de los brotes y dar lugar a un anillo anual muy fino o incluso nulo (Morey, 1977).

En las coníferas, las células del *cambium* se dividen para producir traqueidas, que están presentes en la madera de primavera, tienen diámetros apreciables y paredes delgadas, la temporada de crecimiento sufre una transición, pues cesa la producción de traqueidas de la madera de primavera para la formación de traqueidas de madera de otoño, las que son de modo característico, más lignificadas, de paredes más gruesas y de menor lumen, éstas a su vez forman anillos concéntricos (Daniel *et al.*, 1982).

El incremento anual puede dar lugar a un anillo múltiple en el que se forman varios anillos de crecimiento cada año cuando se presentan largos periodos de sequía y cuando la humedad del suelo llega a ser insuficiente para soportar el crecimiento del árbol y, por consiguiente el anillo anual se pierde en dicho año (Morey, 1977).

En las coníferas se pueden presentar anillos falsos, los que no necesariamente se extienden alrededor del tronco en su totalidad y se presentan con mayor frecuencia en las porciones superiores del tronco. Estos anillos se presentan como resultado de condiciones hormonales adversas a las condiciones hídricas o de carbohidratos que afectan sólo una porción del tronco (Daniel et al., 1982).

2.2.2 Crecimiento en altura

El crecimiento en altura se produce a medida que las yemas apicales, en el extremo del meristemo terminal, se expanden y crecen cada primavera. Los diversos meristemos apicales y laterales contenidos dentro de la copa crecen y se expanden aumentando la masa total de la copa del árbol (Hocker, 1984).

La yema apical hiberna con todos los primordios de los órganos preformados en un estado embrional. En primavera la yema se abre y el brote comienza a crecer y a madurar. Normalmente el crecimiento en longitud de este tipo queda reducido a un solo periodo al principio de la estación de crecimiento. Los sistemas implicados en la regulación del crecimiento en altura de las especies leñosas están finalmente relacionados con el control de la división y el alargamiento de las células en las nervaciones y

meristemas periféricos de los entrenudos en desarrollo (Morey, 1977).

La altura que alcanzará un árbol cuando crece en un cierto sitio y hasta una edad determinada es, supuestamente, dependiente del suelo, y del clima; excepto cuando la afecta la densidad del rodal. El crecimiento en altura de los árboles se ve afectado negativamente tanto por la presencia de rodales muy abiertos como por los de rodales muy densos (Daniel *et al.*, 1982).

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. 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; el incremento en altura depende de factores como: genotipo, calidad de estación y medio ambiente; pero en el factor individual es muy importante el genotipo, puesto que bajo las mismas condiciones algunos árboles exhiben un incremento hasta de dos o tres veces mayor que otros y entre los factores externos, la calidad del suelo influye mucho en el crecimiento en altura (Klepac, 1976).

2.2.3 Crecimiento en diámetro

El crecimiento en diámetro es el resultante de las actividades del *cambium* vascular que implica la división periclinal (división en plano tangencial) de las células del *cambium* dando origen a una fila de elementos alineados radialmente del xilema y floema. Aquellas células del *cambium* vascular que se hallan en división constituyen la zona del *cambium*, desde ésta, los elementos del xilema se diferencian hacia adentro de manera regular durante el proceso de desarrollo creciendo en superficie, engrosando la pared y lignificándose (Morey, 1977).

El incremento anual en diámetro depende de la cantidad de reservas materiales acumuladas por el árbol durante el año, pero depende más del medio ambiente que el crecimiento e incremento en altura; dentro de ciertos límites el incremento en diámetro es mayor cuando hay más espacio, lo mismo sucede con la luz, esto se manifiesta en los anillos de crecimiento que bajo condiciones normales su crecimiento es pequeño al principio, después aumenta hasta alcanzar una fase de alta actividad y disminuye gradualmente hasta llegar a ser muy reducidos en árboles viejos (Klepac, 1976).

El crecimiento en diámetro se ve afectado en forma uniforme por las altas densidades de vegetación presentes en el sitio, mientras que en densidades bajas o con amplios espacios ocurre un

mejor crecimiento que se prolongan hasta el final de su vida, de un árbol o de rodales de edad uniforme (Clutter *et al.*, 1992)

El crecimiento radial anual comienza en la primera parte de la primavera y no termina hasta la última parte del verano o primera del otoño, aunque puede variar el grado de crecimiento durante este período. El crecimiento radial se puede atribuir al incremento en la masa celular alrededor del meristemo lateral del *cambium*, el cual produce cada año las células xilemáticas hacia el interior del tallo y las floemáticas hacia el exterior (Hocker, 1984).

El incremento anual en diámetro del árbol se manifiesta en los anillos de crecimiento, aunque no es igual su anchura a lo largo de todo el fuste. Los anillos de crecimiento son más anchos en la parte superior del fuste inmediatamente abajo de las primeras ramas; más abajo el ancho de los anillos decrece y en la base del árbol se ensanchan otra vez (Klepac, 1976).

2.2.4 Crecimiento en área basal

El crecimiento en área basal es una medida de la capacidad de árboles o rodales para producir elementos del xilema, producción que está parcialmente controlada por factores genéticos, bióticos, físicos y químicos del ambiente. A medida que se desarrollan los

rodales, el área basal se acumula y alcanza su máximo crecimiento, bajo condiciones de población completa. Los tratamientos silvícolas pueden reducir y redistribuir el área basal en rodales de edad uniforme. Rodales bien poblados y en condiciones naturales, la tasa de crecimiento en área basal se estabiliza con la edad, interrumpiendo el aumento de la tasa de acumulación, independiente de la calidad de sitio (Daniel *et al.*, 1982).

El efecto de la calidad de sitio en función de la edad sobre la acumulación de área basal influye notablemente un incremento en sitios de buena calidad, pero a medida que la edad aumenta, es relativamente pequeña en comparación con sitios de baja calidad, una mejoría en la calidad de un sitio empobrecido ocasiona un notable incremento en la acumulación de área basal (Daniel *et al.*, 1982).

Cuando el número de árboles aumenta por hectárea, el área basal aumentará con cada árbol, sumando al final una cantidad total de área basal. Existen diferencias entre las especies en sus áreas basales, a una edad fija, esta variación puede deberse a la tolerancia de las especies, esto constituirá, en área basal, una correlación suficiente para garantizar que la tolerancia ejerce una cierta influencia sobre el área basal; pero resulta errático, porque los árboles tolerantes pierden esta cualidad al avanzar su edad. El área basal es una de las características más importantes

en la descripción de un rodal, debido a que presenta una de las tasas de crecimiento más notables que se reconocen en la silvicultura (Daniel *et al.*, 1982).

2.2.5 Crecimiento en volumen

El incremento total en volumen del árbol, no sólo consiste de la parte leñosa, sino también del follaje, frutos y sistema radicular. El volumen del árbol aumenta paralelamente con la altura y el diámetro desde su nacimiento hasta su muerte. La curva es también en forma de "S", pero el punto de inflexión en esta curva ocurre aún más tarde que en las curvas del incremento en altura y diámetro, lo que tiene una repercusión en la culminación del incremento en volumen. Bajo condiciones diferentes el incremento en volumen siempre culmina después del incremento en altura, diámetro y área basal. Con la edad el incremento anual en diámetro del árbol disminuye gradualmente; los anillos de crecimiento tienden a ser más estrechos, pero el correspondiente incremento en volumen permanece más tiempo y cuando los anillos de crecimiento se hacen considerablemente más estrechos comienza la disminución (Klepac, 1976).

El volumen depende directamente del diámetro y la altura, pero tiene una relación lineal con el área basal, mientras el incremento en el número de árboles por hectárea eleva la magnitud del área basal y se sostenga la relación

lineal entre el área basal y el volumen, la densidad carece de efectos significativos sobre el crecimiento en altura. Cuando el área basal disminuye al aumentar el número de árboles por unidad de superficie el incremento en volumen, y probablemente el crecimiento en altura también se reducen (Daniel *et al.*, 1979).

2.2 Análisis troncal

En las zonas de clima templado las capas del incremento anual se aprecian claramente en los anillos de crecimiento o de madera temprana y tardía. Estos anillos al ser medidos sirven para la estimación del crecimiento e incremento del árbol, debido a que es posible por medio de ellos saber qué tan grande era el árbol, cual era su diámetro, y cual era su volumen en un determinado año de vida (Klepac, 1976).

El análisis troncal es el camino más directo y preciso para estudiar el desarrollo e incremento de un árbol, determinar su crecimiento e investigar diferentes relaciones que lo controlan. Este procedimiento consiste en la medición por secciones de las dimensiones del árbol a diferentes edades y a partir de ello se calculan los distintos elementos y el crecimiento. Los datos requeridos para esto se obtienen por conteo y medición de los anillos sobre las rodajas obtenidas a diferentes alturas fustales (Prodan *et al.*, 1997).

El análisis del tronco es un historial del crecimiento del árbol en altura y, también, el de su diámetro tanto en el tocón como en cierto número de puntos situados más arriba del tronco (Bruce y Schumacher, 1965).

2.4. Curvas de crecimiento e incremento

La altura alcanzada en un punto determinado del tiempo en función de la edad, representada en forma gráfica, produce la curva de desarrollo en altura o la curva de rendimiento. Esta curva de rendimiento tiene forma típica para todos los elementos de árbol y rodal. Se asemeja a una "S" extendida o el símbolo de la integral (Prodan *et al.*, 1997).

Entre la curva de rendimiento y crecimiento existe una relación, donde la dimensión total (crecimiento acumulado o rendimiento) alcanzado en un momento del tiempo determinado es igual a la sumatoria de todos los crecimientos anuales. Por lo tanto, la curva de rendimiento es la curva acumulativa de la curva de crecimiento (Prodan *et al.*, 1997).

2.5 Modelos de crecimiento

Un modelo es una forma de caracterizar un sistema o parte de un sistema. Es una abstracción y simplificación de un proceso natural que permite su estudio y análisis (Prodan *et al.*, 1997).

Un modelo matemático es como un modelo verbal (una descripción, pero que usa un lenguaje matemático más conciso y

menos ambiguo que un lenguaje natural). Pero en sí, un modelo de crecimiento generalmente se refiere a un sistema de ecuaciones que puede predecir el crecimiento y la productividad de un bosque bajo una amplia variedad de condiciones (Vanclay, 1994).

Algunos de los importantes usos de los modelos de crecimiento incluye la habilidad para predecir la productividad futura y explorar opciones de manejo y alternativas silvícolas. Por ejemplo, los forestales desean conocer los efectos de largo plazo tanto en el bosque como en futuras cosechas de una particular decisión silvícola, tales como un cambio de los límites de aclareos por aprovechamiento. Con un modelo de crecimiento ellos pueden examinar cómo lo pueden hacer, con decisiones objetivas, además el modelo de crecimiento puede ofrecer nuevos puntos de vista en la dinámica del rodal (Vanclay, 1994).

Entre las ecuaciones más utilizadas están la función de Chapman-Richards y sus derivaciones, la función de Schumacher y su derivación que corresponde a la función de Korf, y otros múltiples modelos que tienen la propiedad de presentar una forma integral (rendimiento) y una forma diferencial (crecimiento) (Prodan et al., 1997).

Las relaciones más comunes en los modelos de crecimiento se han realizado entre edad y varias características dasométricas como son: diámetro, área basal, volumen y altura, también se ha relacionado la edad con el incremento corriente anual (ICA) y el incremento medio anual (IMA), para la variables altura, diámetro,

área basal y altura (González, 1997). Gutiérrez y Ramírez (1993) relacionaron la edad con diámetro, altura, volumen y la superficie lateral de la copa. Para una plantación de caoba (*Swietenia macrophylla*), Cuevas et al., (1992) utilizaron un modelo de crecimiento para diámetro normal y altura total relacionado con la edad. Por otra parte para índices de sitio también se utilizaron modelos de crecimiento donde relacionan la edad con la altura dominante y codominante de los árboles (Cuadro 1).

2.6 Dinámica de crecimiento de la regeneración

Hawley y Smith (1972) mencionan que el requisito previo y el más obvio para la existencia de una regeneración natural es un buen suministro de semillas. Las cantidades limitadas de semillas que se producen casi cada año dan lugar a una repoblación escasa o nula; el origen de muchos rodales puede atribuirse a años especialmente buenos de semilla seguidos por condiciones satisfactorias para la germinación y el establecimiento de los brinzales. Los nuevos brinzales tienen una mortalidad más elevada durante las primeras semanas de su existencia, cuando sus tallos

Cuadro 1. Modelos de crecimiento utilizados en diferentes estudios forestales.

Nombre	Modelo	Autor
	$LnY = \beta_0 + \beta_1(1/edad)$	Alder, (1980)
	$Y = \beta_0 + \beta_1(\chi_i)^2$	Clutter et al., (1992)
Bertalanffy	$Ln\Delta d = \beta_0 + \beta_1 \ln d + \beta_2 d^K$	Vanclay, (1994)
Wykoff	$Ln \Delta d = \beta_0 + \beta_1 + \beta_2 d^2$	
Vanclay	$Ln \Delta d = \beta_0 + \beta_1 + \beta_2 d$	
Von Bertalanffy	$Y = \beta_0 (1 - e^{-\beta_1 t})^3$	
	$Y = \beta_0 (1 - e^{-\beta_1 t})^{\beta_2}$	

Chapman-Richards		
Monomolecular	$Y = \beta_0 (1 - \beta_2 e^{-\beta_1 t})$	
Logístico	$Y = \frac{\beta_0}{(1 + \beta_2 e^{-\beta_1 t})}$	Ratkowsky, (1983)
Gompertz	$Y = \beta_0 e^{-\beta_1 e^{-\beta_2 t}}$	Valles et al., (1995)
Schumacher	$Y = \beta_0 e^{-\beta_1 \left(\frac{1}{t}\right)}$	Zepeda, (1997)
Weibull	$Y = \beta_0 [1 - e^{-\beta_1 t^{\beta_2}}]$	
Levacovic I	$Y = \beta_0 \left[\frac{t\beta_3}{\beta_1 + t\beta_3} \right]^{\beta_2}$	Zamudio y Ayerde, (1997)
Korf	$Y = \beta_0 e^{-\beta_1 t^{-\beta_2}}$	
Sloboda	$Y = \beta_0 e^{-\beta_1 e^{-\beta_2 t^{\beta_3}}}$	
	$Y = \beta_0 + \beta_1 \chi + \beta_2 \chi^2$	Alder, (1980)
	$LogY = \beta_0 + \beta_1 \log \chi + \beta_2 \chi$	

Donde:

Y = Variable de estudio

T = Tiempo

$\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3$ = Parámetros de la ecuación

Ln = Logaritmo naturale

e = Base de los logaritmos naturales

Δd = Incremento en diámetro

K = Donstante de proporcionalidad.

Log = Logaritmos comunes base 10

son todavía verdes y suculentos por lo que son extremadamente susceptibles a los daños causados por agentes físicos y bióticos.

El periodo de regeneración no incluye hasta que los jóvenes árboles se hallen firmemente establecidos en número suficiente sobre el lugar y son libres de crecer en altura a una velocidad satisfactoria. Cuando los brinzales crecen con rapidez sin la competencia de plantas de crecimiento rápido, esta parte final del

periodo de regeneración es corta. Si los brinzales crecen muy lentos o son ahogados por la vegetación dominante, el establecimiento tardara para establecerse (Hawley y Smith, 1982).

Zobel y Talbert (1988) destacan que una regeneración considerada como buena, es aquella que se establece en el mejor tiempo posible, de la especie deseada y que presente un número de individuos y distribución adecuado.

Los diferentes patrones de crecimiento de las plantas son relativos a las condiciones adaptativas de acuerdo con el medio en que se desarrollan. Esto también implica una interrelación entre características genotípicas y las condiciones ambientales. Por ejemplo la diferencia en altura anual es producto principalmente de los diferentes fotoperiodos (Chávez, 1996).

En un estudio realizado en la región de Iturbide, Nuevo León sobre la dinámica del crecimiento de especies arbóreas en un rodal mixto - incoetáneo mediante la metodología de análisis troncal, se encontró que en la exposición Norte, las buenas relaciones de nutrientes del suelo ofrecen un crecimiento rápido en la etapa juvenil. A una altura de 8 y 10 m se inicia el proceso de reducción del incremento a causa de una insuficiente relación de humedad. En la exposición Sur donde la sequía es mayor, los

individuos muestran un bajo crecimiento a partir de la etapa juvenil (Jiménez y Kramer, 1992).

2.7 Productividad de sitios

La forma más comúnmente empleada para estimar la productividad de los bosques constituidos por rodales coetáneos, es el método de índice de sitio, que consiste fundamentalmente en la construcción de un sistema de curvas de crecimiento en altura, que representen el comportamiento de esta variable durante la vida de los rodales en localidades diferentes, de tal forma que al conocer la altura dominante y la edad de un bosque coetáneo, puede asignársele el índice de sitio, de acuerdo con la altura que dicho bosque alcance a una edad determinada (Alder, 1980).

Daniel *et al.*, (1982) señalan que existen métodos directos o indirectos para evaluar la calidad de sitio. Los métodos directos de evaluación se realizan en rodales de edad uniforme y totalmente poblados, donde se miden todos los árboles por encima de un diámetro normal mínimo especificado como diámetro a la altura del pecho (dap) y altura total.

Spurr y Barnes (1982) mencionan que la capacidad que tiene un terreno forestal para favorecer el crecimiento de los árboles, se determina por la calidad de sitio, por lo tanto la calidad de

sitio estará determinada por la suma de los factores que afectan la productividad de un bosque, como son los aspectos climáticos, edáficos, topográficos y biológicos. Esta productividad puede ser determinada directamente por diferentes métodos utilizando una de las alternativas siguientes:

a) Método de índice de sitio. Es el método usual de determinar el índice de la localización con base en la altura de los árboles que depende de la determinación de una curva de crecimiento en altura en función del crecimiento en edad para posteriormente estimar la altura en relación con una edad estándar. Este método a sido utilizado en muchos trabajos a partir de un análisis de regresión, considerados sobre una curva guía simple y ajustada para tener la misma forma y tendencia.

b) Método de intercepción. El método de intercepción de cinco años, utiliza la longitud total de los cinco primeros entrenudos anuales, por encima de la altura del pecho, se recomienda aplicar este método principalmente en rodales jóvenes, con población moderada o densa y no exige el conocimiento de la edad del rodal; es más fácil de aplicar en rodales cerrados.

c) Método de vegetación. Este método se basa en la suposición de que la presencia de ciertas especies climax en la cubierta vegetal bajo un rodal maduro es indicadora de la calidad de sitio.

d) Método ambiental. El método ambiental depende de la existencia de plantas indicadoras y se limita a las partes nórdicas (Canadá y Norte de Estados Unidos), donde se puede clasificar en: Índice edáfico de Sitio, Tipos Fisiográficos de Sitio, Ordenación y Biogeocenosis de Krainja.

La productividad es un complejo biológico y no puede expresarse matemáticamente. El crecimiento de los árboles está relacionado con el clima, pero su variación dentro de una región forestal determinada suele ser la misma. No así el microclima, que puede tener una incidencia muy fuerte en el sitio. La cantidad de precipitación y su distribución a través del período de crecimiento, junto a las características físicas del suelo, condicionan la disponibilidad de agua para la vegetación. Otros elementos del clima son la temperatura, la radiación y el viento. Estas variables son sustituidas en muchas expresiones de sitios por variables geográficas y topográficas, latitud, altitud, exposición en la pendiente entre otras (Prodan et al., 1997).

3 MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Descripción del área de estudio

El área de estudio se encuentra ubicada en el macizo montañoso de la Sierra Madre Oriental, al Sur del Estado de Nuevo León, geográficamente se localiza entre los meridianos $99^{\circ}43'18''$ y los $100^{\circ}23'47''$ de longitud W y entre los paralelos $23^{\circ}49'22''$ y los $25^{\circ}21'54''$ de latitud N (Figura 1). En esta región se localizaron 24 rodales, cuya información geográfica y caracterización de los rodales se presenta en el Cuadro 2.

En las diferentes localidades estudiadas el tipo de clima es variable, el más prevaleciente de la región es un clima seco, el menos seco de los BS, templado, con verano cálido y una temperatura media anual que varía en un rango de 12 a 18°C , con temperatura del mes más frío entre -3 y 18°C y la del mes más caliente mayor de 18°C , con régimen de lluvias de verano (INEGI, 1985 a, 1985 b y 1990 a, 1990 b; UNAM, 1970). En los Cuadros 3 y 4 se resumen para cada rodal las principales características climáticas.

En el aspecto geológico de la región, se reportan rocas sedimentarias, calizas y lutitas. Mientras que en el aspecto edafológico sobresalen los tipos de rendzina, litosol, regosol

Figura 1. Localización de rodales estudiado.

Cuadro 2. Localización y caracterización de rodales estudiados al sur de Nuevo León.

Rodal No.	Paraje	Propiedad	Municipio	Estado	Longitud	Latitud	Altitud m s n m*	Exposición	Pendiente (%)	Pedregosidad (%)
1	La Nopalera	Pequeña	Iturbide	Nuevo León	99° 53' 44''	24° 43' 01''	1530	NE 38°	33	37
2	El Puertecito	Ejido Pablillo	Galeana	Nuevo León	99° 58' 52''	24° 35' 43''	2100	NE 14°	22	21
3	El Venadito	Comunal Laguna de Sánchez	Santiago	Nuevo León	100° 21' 02''	25° 21' 13''	2020	SUR	35	59
4	El Venadito	Comunal Laguna de Sánchez	Santiago	Nuevo León	100° 21' 08''	25° 21' 14''	2060	NORTE	65	2
5	El Pueblo	Comunal	Zaragoza	Nuevo León	99° 46' 49''	23° 57' 21''	1555	NE 24°	20	75
6	El Barro	Comunal	Zaragoza	Nuevo León	99° 47' 48''	23° 57' 05''	1791	ZENITAL	1	2
7	Puerto el Pino	Ejido la Joya	Zaragoza	Nuevo León	99° 52' 55''	23° 49' 22''	2580	SW 46°	27	15
8	La Lagunita	Ejido la Soledad	Aramberri	Nuevo León	99° 58' 23''	24° 01' 32''	1860	NW 58°	50	35
9	La Rosita	Privada la Rosita	Galeana	Nuevo León	99° 54' 26''	24° 10' 58''	1900	SE 37°	23	45
10	San Sebastián	Ejido Pablillo	Galeana	Nuevo León	99° 58' 25''	24° 34' 54''	2155	ZENITAL	15	10
11	El Taray	Ejido Pablillo	Galeana	Nuevo León	99° 57' 54''	24° 34' 26''	2146	NE 40°	26	32
12	El Maguey	Privada Juan Villanueva	Aramberri	Nuevo León	99° 43' 18''	24° 02' 40''	2750	SE 85°	17	5
13	La Labor Baldía	Ejido Potrero del Padre	Aramberri	Nuevo León	99° 44' 16''	24° 03' 21''	2167	NE 52°	24	6
14	Agua Adentro	Ejido Potrero del Padre	Aramberri	Nuevo León	99° 44' 52''	24° 03' 40''	1600	NE 60°	28	27
15	El Tejocote	Ejido Laguna de Sánchez	Santiago	Nuevo León	100° 14' 52''	24° 19' 56''	1906	SW 5°	60	42
16	Mesa de los Caballos	Ejido Laguna de Sánchez	Santiago	Nuevo León	100° 15' 04''	25° 19' 07''	2070	NE 24°	35	30
17	Puerto Nuncio	Ejido Laguna de Sánchez	Santiago	Nuevo León	100° 15' 04''	25° 18' 32''	2250	W FRANCO	62	15
18	San Sebastián	Privada San Sebastián	Santiago	Nuevo León	100° 22' 30''	25° 21' 39''	1820	NE 18°	35	6
19	Las Flores	Ejido San José Boquillas	Santiago	Nuevo León	100° 23' 47''	25° 21' 48''	1930	SE 83°	30	1
20	Puerto Genovevo	Ejido Puerto Genovevo	Santiago	Nuevo León	100° 10' 44''	25° 20' 26''	1120	SE 46°	70	4
21	Carral de Palo	Ejido Puerto Genovevo	Santiago	Nuevo León	100° 09' 18''	25° 19' 11''	805	SE 25°	51	8
22	Potrero Redondo	Ejido Puerto Genovevo	Santiago	Nuevo León	100° 09' 39''	25° 15' 18''	1382	ZENITAL	11	42
23	La Trinidad	Ejido La Trinidad	Montemorelos	Nuevo León	100° 08' 49''	25° 14' 18''	1620	NE 38°	41	2
24	El Manzano	Privada el Manzano	Santiago	Nuevo León	100° 11' 53''	25° 21' 54''	1680	NW 25°	50	5

*msnm: metros sobre el nivel del mar

Cuadro 3. Efectos climáticos de las localidades estudiadas al sur de Nuevo León.

Rodal No.	Precipitación total (mm) Mayo - Octubre	Precipitación total (mm) Noviembre-Abril	Temperatura Promedio Máximas May-Jun-Jul (° C)	Temperatura promedio máximas Nov-Dic-Ene (° C)	Temperatura promedio mínimas May-Jun-Jul (° C)	Temperatura promedio mínimas Nov-Dic-Ene (° C)	Número de días con lluvia apreciable Mayo-Octubre	Número de días con lluvia apreciable Nov - Abril	Precipitación total anual en (mm)	Temperatura promedio anual (° C)
1	520 (500 - 575)	110 (100 - 125)	25.0	20.5	12.0	5.8	DE 30 A 59	DE 0 A 29	630	14.5
2	340 (325 - 400)	116 (100 - 125)	19.0	19.4	6.5	2.0	DE 30 A 59	DE 0 A 29	456	12.2
3	472 (400 - 475)	98 (75 - 100)	22.0	15.0	10.0	1.5	DE 30 A 59	DE 0 A 29	570	12.1
4	472 (400 - 475)	98 (75 - 100)	22.0	15.0	10.0	1.5	DE 30 A 59	DE 0 A 29	570	12.1
5	680 (625 - 700)	155 (150 - 200)	27.0	20.5	12.5	5.7	DE 30 A 59	DE 0 A 29	835	16.4
6	667 (625 - 700)	152 (150 - 200)	24.0	18.8	11.0	5.0	DE 30 A 59	DE 0 A 29	819	14.7
7	396 (325 - 400)	128 (125 - 150)	19.0	15.2	9.0	3.2	DE 30 A 59	DE 0 A 29	524	11.6
8	420 (400 - 475)	113 (100 - 125)	24.0	20.0	7.5	4.0	DE 30 A 59	DE 0 A 29	533	13.9
9	410 (400 - 475)	125 (100 - 125)	21.8	17.5	6.5	4.0	DE 30 A 59	DE 0 A 29	535	12.45
10	360 (325 - 400)	117 (100 - 125)	20.8	19.0	7.5	2.3	DE 30 A 59	DE 0 A 29	477	12.4
11	420 (400 - 475)	120 (100 - 125)	21.0	18.0	9.0	2.0	DE 30 A 59	DE 0 A 29	540	12.3
12	770 (700 - 800)	140 (125 - 150)	21.0	18.0	12.0	4.5	DE 30 A 59	DE 0 A 29	910	12.8
13	768 (700 - 800)	139 (125 - 150)	22.5	18.0	13.0	5.0	DE 30 A 59	DE 0 A 29	907	13.6
14	750 (700 - 800)	130 (125 - 150)	24.7	18.0	12.0	4.3	DE 30 A 59	DE 0 A 29	880	14.7
15	633 (625 - 700)	125 (100 - 125)	25.0	15.0	9.0	3.0	DE 30 A 59	DE 0 A 29	758	14.0
16	595 (550 - 625)	122 (100 - 125)	25.0	16.0	12.0	2.5	DE 30 A 59	DE 0 A 29	717	15.5
17	626 (625 - 700)	121 (100 - 125)	22.0	15.0	9.0	2.4	DE 30 A 59	DE 0 A 29	747	12.1
18	465 (400 - 475)	96 (75 - 100)	26.0	17.0	12.0	2.0	DE 30 A 59	DE 0 A 29	561	14.25
19	465 (400 - 475)	97 (75 - 100)	25.0	16.5	11.0	2.7	DE 30 A 59	DE 0 A 29	562	13.8
20	805 (800 - 900)	154 (150 - 200)	28.0	20.0	15.0	5.0	DE 30 A 59	DE 0 A 29	959	10.0
21	810 (800 - 900)	155 (150 - 200)	28.0	19.0	15.0	5.7	DE 30 A 59	DE 0 A 29	965	16.75
22	800 (700 - 800)	151 (150 - 200)	27.0	20.0	13.0	4.0	DE 30 A 59	DE 0 A 29	951	16.0
23	803 (800 - 900)	153 (150 - 200)	26.0	20.0	14.0	4.0	DE 30 A 59	DE 0 A 29	962	16.0
24	770 (700 - 800)	149 (125 - 150)	28.8	19.0	13.0	5.0	DE 30 A 59	DE 0 A 29	919	16.4

Fuente: INEGI, 1985 a, 1985 b, 1990 a, 1990 b.

Cuadro 4. Tipos de climas importantes de la región estudiada.

Municipios	Localidad	Fórmula climática
Iturbide	La Nopalera	
Galeana	El Puertecito La Rosita San Francisco El Taray	Cb (wo) w' (e). Clima templado húmedo, el más seco de los templados subhúmedos con verano fresco y largo, con una temperatura del más caliente entre 6.5 y 22 °C. Con referencia a la oscilación anual de temperaturas medias mensuales de tipo extremo de 7 y 14°C. Régimen de lluvias de verano: por lo menos 10 veces mayor cantidad de lluvia en el mes más húmedo de la mitad caliente del año que en el mes más seco, un porcentaje de lluvia invernal entre 5 y 10.2 del total anual
Santiago	El Venadito El Tejocote Mesa de los C. Puerto Nuncio San Sebastian Las Flores El Manzano	BS ₁ k w' (e). Clima seco, el menos seco de los BS, con un cociente de P/T < 22.9, templado con verano cálido, con temperatura media anual entre 12 y 18°C, la del mes más frío entre -3 y 18°C, y la del más caliente > 18°C. Régimen de lluvias de verano: por lo menos 10 veces mayor cantidad de lluvia en el mes más húmedo de la mitad caliente del año que en el más seco, un porcentaje de lluvia invernal entre 5 y 10.2 del total anual.
Aramberri	La Lagunita	
Montemorelos	La Trinidad	
Santiago	Puerto Genovevo Corral de Palo Potrero Redondo	A (C) (x') (w ₀ ...) a (e). Clima semicálido, el más fresco del grupo A, con temperatura media anual < 22°C y la del mes más frío > 18°C. Con un régimen de lluvias de verano, verano cálido con temperatura media del mes más caliente > 22°C, con oscilación anual de temperaturas medias mensuales

		extremas entre 7° y 14°C.
Aramberri	El maguey Labor baldía Agua Adentro	
Zaragoza	El Pueblo El Barro Puerto el Pino	C (w ₂) (w) (e). Clima húmedo, el más húmedo de los templados subhúmedos , con un cociente de P / T > 55.0 . Régimen de lluvias de verano por lo menos 10 veces mayor cantidad de lluvia en el mes más húmedo de la mitad caliente del año que en el más seco, un porcentaje de lluvia invernal entre 5 y 10.2 de la total anual.

Fuente: UNAM, 1970.

calcárico de textura media (DETENAL, 1976, 1977a, 1977b, 1978; CETENAL, 1975, 1977 a, 1977 b, 1977 c, 1977 d, 1977 e y 1978). En el Cuadro 5 se reportan los tipos de rocas y de suelo correspondientes a cada rodal.

3.2 Vegetación predominante en la región de estudio

En esta región existen pinares diversos, sobre todo en las partes más altas de la cordillera y también en sus declives occidentales. Pocas veces, sin embargo, forman grandes bosques forestales, su extensión es discontinua y a menudo se presentan en forma de bosques mixtos de *Quercus* y *Pinus*. De las partes más altas (hasta los 3000 m de altitud) se conocen los bosques de *Pinus rudis*, *Pinus montezumae*, mientras que el *Pinus arizonica* desciende cerca de Galeana hasta los fondos de algunos valles en forma de comunidades abiertas. *Pinus pseudostrobus*, *Pinus*

montezumae y *Pinus teocote* son los principales componentes de los pinares entre los 1500 y 2800 m de altitud (Rzedowski, 1978).

Se trata de un complejo que incluye desde comunidades bajas y abiertas hasta relativamente altas y densas que se distribuyen en función de la altitud y de la exposición. De manera similar varía el tamaño y grosor de las hojas, *Quercus clivicola*, *Q. canbyi* y *Q. porphyrogenita*, son los encinos más comunes mientras

Cuadro 5. Aspectos edafológicos y geológicos de la región.

Municipio	Localidad	Edafología	Geología
Iturbide	La Nopalera	Litosol, rendzina y regosol calcárico, de textura media	Calizas y lutitas
Galeana	El Puertecito	Rendzina, castañozem lúvico, de textura fina	Formación de conglomerados
	San Francisco		Calizas y lutitas
	El Taray	Litosol, rendzina, de textura media	Calizas
	La Rosita	Regosol éútrico, rendzina, de textura media.	Yeso
Santiago	El Venadito	Regosol calcárico, feozem calcárico, de textura media	Lutitas y areniscas
	El Tejocote	Regosol éútrico, litosol feozem haplico de textura media	Lutitas y areniscas
	Mesa de los C.		Calizas
	Pto. Nuncio	Litosol de textura media	Lutitas y calizas.
	San Sebastián	Regosol calcárico, feozem calcárico de textura media	Lutitas y areniscas
	Las Flores	Kastañozem, lúvico de textura fina	Lutitas y areniscas
	Pto. Genovevo	Regosol calcárico, litosol, acrisol órtico	Lutitas
	Corral de Palo		Calizas y lutitas
	Ptro. Redondo	Acrisol órtico, luvisol crómico	Lutitas y areniscas
	El Manzano	Luvisol crómico	Lutita arenisca
		Regosol éútrico,	calizas, y

Montemorelos	La Trinidad	luvisol crómico de textura media.	lutitas calizas.
Aramberri	El Maguey	Litosol crómico, rendzina de textura fina	Calizas
	Labor Baldía		Calizas
	Agua Adentro	Vertisol crómico	
	La Lagunita	Rendzina y litosol de textura fina	Aluviones
Zaragoza	El Pueblo	Litosol, rendzina de textura media.	Calizas
	El Barro	Litosol, Regosol éútrico de textura fina	Lutitas.
	Pto. el Pino	Luvisol crómico	Lutitas y calizas

Fuente: CETENAL, 1975, 1977 a, 1977 b, 1977 c, 1977 d, 1977 e y 1978; DETENAL, 1976, 1977 a, 1977 b y 1978.

que *Q. polymorpha* y *Q. rysophila* abundan sobre todo en lugares protegidos, *Juglans mollis* y *Carya myristicaeformis* pueden formar parte importante de la vegetación al igual que *Pinus pseudostrobus* y *P. teocote*, en las partes más altas (Rzedowski, 1978).

En la Sierra Madre Oriental predominan rocas calizas y los bosques de *Quercus* prevalecen ampliamente, aunque también presentan bosques de *Pinus* y algunas otras comunidades, de los géneros endémicos, entre los que pueden citarse *Greenmaniella*, *Loxothysanus* y *Mathiasella* (Rzedowski, 1978).

La distribución de la especie en la parte Sur de Nuevo León en la exposición Norte sucede en grupos irregulares hasta claros mayores. En ocasiones se encuentran densamente cerrados, mientras que en la exposición Sur resulta ser más irregular y presenta una distribución de densidad que alcanza desde claros amplios hasta áreas totalmente despejadas. *Pinus estevezii*, se encuentra mezclado en grupos y en pequeñas áreas con *Juniperus flaccida* y diversos encinos (*Quercus canbyi* y *Quercus prinopsis*) (Jiménez y Kramer, 1992).

De acuerdo con los estudios realizados por Muller (1994), en el Noreste de México, en las partes bajas están presentes *Quercus fusiformis* y *Q. canbyi*, para sitios protegidos *Quercus rysophylla* y *Q. polymorpha*, allí se puede presentar en mezcla *Pinus pseudostrobus*, aumentando su frecuencia con la altura y formando asociación con *Pinus teocote* y *Q. monterreyensis* y *Q. clivícola*, está presente en asociaciones con *Agave americana* evidentemente en localidades secas; en este tipo de localidades se presentan fustes deformes, el nacimiento de la copa es bajo y el arbolado es ralo. En zonas protegidas se encuentran fustes más rectos y mayores alturas y un diámetro a la altura del pecho apreciable.

Además, Muller (1994), describe a los bosques (mixtos) de montaña como las comunidades vegetales donde se presenta la mayor riqueza de especies de las formaciones de bosque y matorral. Además de las especies de *Quercus* pertenecientes a la franja inferior (y que sin excepción penetran un tramo a la franja de montaña), donde se presentan en mayores altitudes *Quercus greggii*, *Q. affinis*. y *Q. mexicana*. En la frontera con el nivel sub-alpino se encuentra también *Populus tremuloides*, y dentro de las coníferas nombra a *Pseudotsuga mucronata* y *Cupressus arizonica* junto con *Pinus pseudostrobus* y *Pinus teocote*, también se encuentra *Taxus globosa*.

Con base en los recorridos y observaciones de campo, las especies forestales más importantes dentro de los rodales de *Pinus estevezii* del estrato arbóreo superior, se encuentran *Abies durangensis* var. *coahuilensis*, *Abies sp*, *Pinus teocote*, *Pinus cembroides*, *Taxus globosa*, *Pinus johannis*, *Juglans mollis*, *Quercus sp.* y, como estrato inferior se encuentra asociado con *Arbutus xalapensis*, *Rhus virens*, *Prunus serotina*, *Yucca carnerosana*, *Agave sp.* entre otras especies.

3.3 Trabajos de campo

En la evaluación del crecimiento e incremento de *Pinus estevezii* se registraron observaciones de factores fisiográficos. (altitud, exposición y pendiente). Con la ayuda de un geoposicionador (GPS) se obtuvieron las coordenadas geográficas promedio de cada localidad. Así también, se hizo la descripción *in situ* de la vegetación y de la pedregosidad en el suelo y algunos aspectos como el régimen de propiedad de la tierra de cada localidad.

Se localizaron 24 rodales, ampliamente distribuidos en la región, de los cuales en cada rodal se seleccionaron de 5 a 6 árboles, en total se utilizaron 114 árboles que tuvieran una altura no menor de 1.30 m y no mayor de 3.80 m.

3.3.1 Registro de datos

Se seleccionaron árboles representativos de la regeneración en rodales. Se consideraron árboles sanos, vigorosos, de buen porte dominante y sin competencia de árboles adultos y desechando aquellos que presentaban alguna deformación natural o por defectos artificiales.

Después de seleccionar el árbol, con la ayuda de un flexómetro se midieron los diámetros de copa, realizando dos mediciones en forma de cruz para obtener un promedio, también

se midió la longitud de copa considerando la primera rama viva como la base de la copa, la altura total y el número de verticilos que tenía el árbol.

3.3.2 Obtención de rodajas para análisis troncal

Los árboles elegidos se cortaron con la ayuda de una segueta de metal y un serrucho, se desramaron y se marcó con un color sobre el fuste los diferentes cortes a efectuar en él. Para obtener las rodajas a diferentes alturas correspondieron a las secciones del nivel del suelo de (0 cm), 30 cm de altura y partiendo de esta medida el resto se obtuvo a cada 50 cm.

Se obtuvieron rodajas de 3 a 6 cm de ancho, y en la parte inferior se anotó el número del rodal, número de árbol y el número de rodaja.

Una vez obtenidas las rodajas, se guardaron en bolsas de papel que se identificaron con el número del rodal y el número de árbol. En una bolsa de polietileno se colocaron las rodajas de cada árbol correspondiente a cada rodal y se transportaron al laboratorio.

3.4 Trabajos de laboratorio

3.4.1 Acondicionamiento de rodajas

Las rodajas se sometieron a un proceso de secado para evitar ataques de hongos por la humedad, éstas se dejaron en la estufa a una temperatura de 48°C durante 24 horas.

Una vez seco el material se procedió a aclarar los anillos de crecimiento empleando lijas para madera.

3.4.2. Análisis troncal

Una vez acondicionadas las rodajas, en la superficie de cada una se marcó una línea que pasó por el centro de la rodaja que representara el diámetro promedio, después se contaron los anillos anuales de crecimiento con el apoyo de un estereoscopio empezando con la rodaja cortada a 0 cm de altura, en ésta se obtuvo la edad total del árbol y a cada 5 años se midió el diámetro incluyendo el diámetro con corteza, de la misma forma se evaluaron las rodajas cortadas a diferentes alturas del árbol.

3.5 Procesamiento y cálculo de las variables de crecimiento e incremento

La información obtenida del análisis troncal, se procesó mediante el paquete de análisis estadístico S. A. S. (Statistical Analysis System), para calcular los valores de las variables siguientes:

a) Área basal.

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

donde:

AB = Área basal de la sección en cm²

π = Constante.

4 = Constante.

d = Diámetro en cm.

b) Volumen. El cálculo del volumen para cada cono sobrepuesto en el perfil de análisis troncal se obtuvo por adición de los volúmenes de los diferentes tipos dendrométricos (Cailliez, 1980):

1) para la obtención del volumen del tocón se utilizó la fórmula del neloide que es el que se asemeja a la forma del tocón:

$$V = \frac{\pi}{4} \left[\frac{D_1 + D_2}{2} \right]^2 L$$

donde:

$$V = \text{Volumen (m}^3\text{)}$$

$$D_1 = \text{Diámetro menor (cm)}$$

$$D_2 = \text{Diámetro mayor (cm)}$$

$$L = \text{Longitud (cm)}$$

$$\pi = \text{Constante}$$

2) A partir de los 30 cm en adelante exceptuando la sección final del árbol, se calculó con la fórmula del Paraboloides por su semejanza real a un cilindro:

$$V = \frac{\pi}{4} \left[\frac{D_1^2 + D_2^2}{2} \right] L$$

donde:

$$V = \text{Volumen (cm}^3\text{)}$$

$$D_1 = \text{Diámetro menor (cm)}$$

$$D_2 = \text{Diámetro mayor (cm)}$$

$$\mathbf{L = Longitud (cm)}$$

$$\pi = \text{Constante.}$$

3) Para el cálculo de la sección final del árbol se utilizó la siguiente ecuación:

$$V = \frac{\pi}{4} (D^2) h$$

donde:

$$V = \text{Volumen (m}^3\text{)}$$

π = Constante

D = Diámetro (cm)

h = Altura total del cono (m)

Dentro del cálculo del volumen de las puntas de cada cono sobrepuesto, se utilizó la ecuación modificada de (Newberry, 1991), con la finalidad de estimar las alturas totales por anillos de crecimiento, basada en la altura de la sección del punto más alto del análisis troncal. La ecuación se muestra como sigue:

$$H_{ij} = h_i + \left[\frac{(h_{i+1} - h_i)}{(r_i - r_{i+1} - 0.5)} \right] / 2 + (j - 1) \left[\frac{(h_{i+1} - h_i)}{(r_i - r_{i+1} - 0.5)} \right]$$

Donde:

H_{ij} = altura total estimada para el anillo de crecimiento j basado en la sección ij.

h_i = altura de la sección del punto inmediato inferior.

h_{i+1} = altura total de la sección posterior.

r_i = número de anillos de crecimiento de la sección del punto inmediato inferior.

j = número de anillos de crecimiento (asumiendo la médula el punto de inicio, $j = 1 \dots, r_i$).

r_{i+1} = número de anillos de crecimiento en la parte terminal.

0.5 = constante.

Con respecto a los cálculos de los incrementos, estos se obtuvieron a partir de los valores de cada variable (altura, diámetro, área basal y volumen), obteniendo valores de incremento corriente anual (ICA) e incremento medio anual (IMA) Cuadro 6.

Cuadro 6. Cálculo de incrementos.

	Altura	Diámetro	Área basal	Volumen
ICA	D Alt / D Ed	D Diam/D Ed	D AB / D Ed	D Vol / D Ed
IMA	Alt / Ed	Diam / Ed	AB / Ed	Vol / Ed

ICA = Incremento corriente anual

IMA = Incremento medio anual

D = Diferencia

Alt = Altura

Diam = Diámetro

AB = Área basal

Vol = Volumen

Ed = Edad

3.6 Modelos de crecimiento e incremento

Los modelos de crecimiento e incremento en altura, diámetro, área basal y volumen empleados en el presente trabajo se presentan en los Cuadros 7 y 8.

Cuadro 7. Modelos de crecimiento.

Nombre	Modelo
Schumacher	$Y = \beta_0 e^{\beta_1 / t^{\beta_2}}$

Chapman Richards	$Y = \beta_0 (1 - e^{-\beta_1 t})^{\beta_2}$
Von Bertalanffy	$Y = \beta_0 (1 - e^{-\beta_1 t})^3$
Logístico	$Y = \frac{\beta_0}{(1 + \beta_2 e^{-\beta_1 t})}$
Weibull	$Y = \beta_0 [1 - e^{-\beta_1 t^{\beta_2}}]$
Gompertz	$Y = \beta_0 e^{-\beta_1 e^{-\beta_2 t}}$
Levakovic I	$Y = \beta_0 \left[\frac{t^{\beta_3}}{\beta_1 + t^{\beta_3}} \right]^{\beta_2}$
Korf	$Y = \beta_0 e^{-\beta_1 t^{-\beta_2}}$
Sloboda	$Y = \beta_0 e^{-\beta_1 e^{-\beta_2 t^{\beta_3}}}$
Monomolecular	$Y = \beta_0 (1 - \beta_2 e^{-\beta_1 t})$

Fuente: Zamudio y Ayerde, 1997.

Donde:

Y = Variable de estudio altura, diámetro, área basal y volumen.

t = Edad

$\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3,$ = Parámetros del modelo.

e = Base de los logaritmos naturales.

Cuadro 8. Modelos de incremento.

Número	Modelo
1	$Y = \beta_0 + \beta_1 \chi + \beta_2 \chi^2$
2	$\text{Log}Y = \beta_0 + \beta_1 \log \chi + \beta_2 \chi$
3	$\text{Log}Y = \beta_0 + \beta_1 \log \chi$
4	$\text{Log}Y = \beta_0 + \beta_1 \chi$
5	$Y = \beta_0 + \beta_1 \log \chi$

6	$LogY = \beta_0 + \beta_1 / \chi$
7	$LogY = \beta_0 + \beta_1 \log \chi + \beta_2 \chi^{\beta_3}$

Fuente: Alder, 1980 y Vanclay, 1994.

Donde:

Y = ICA e IMA para las diferentes variables dasométricas. β, β_1, β_2 y β_3 , = Parámetros de regresión de la ecuación.

X = Edad.

Log = Base de los logaritmos naturales.

3.7 Análisis estadístico

3.7.1. Selección de modelos de crecimiento e incremento

Con el apoyo del paquete estadístico SAS se utilizó el procedimiento de regresión no lineal (Non Linear Regression o NLIN), se estimaron los parámetros de cada modelo, buscando minimizar la suma de cuadrados residuales.

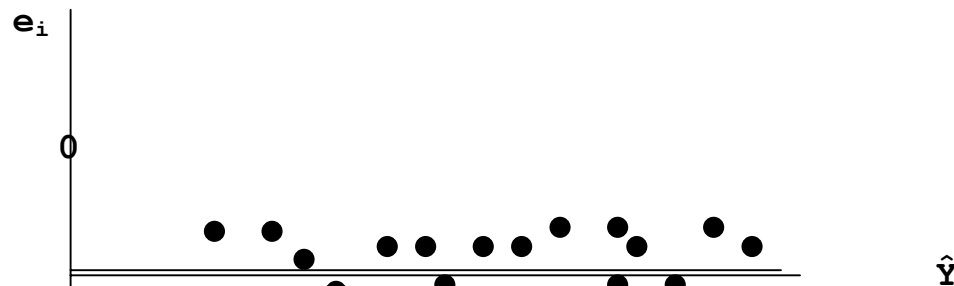
En la selección del mejor modelo se partió de lo que dice Vanclay (1994) sobre la revisión de datos y modelos. Se examinó visual y cuidadosamente los siguientes tres tipos de gráficos:

- 1) Las respuestas de las variables representados en un diagrama de dispersión.
- 2) El diagrama de dispersión con el modelo ajustado para observar su comportamiento.
- 3) Los residuales con los valores ajustados para conocer o evaluar el ajuste de los modelos.

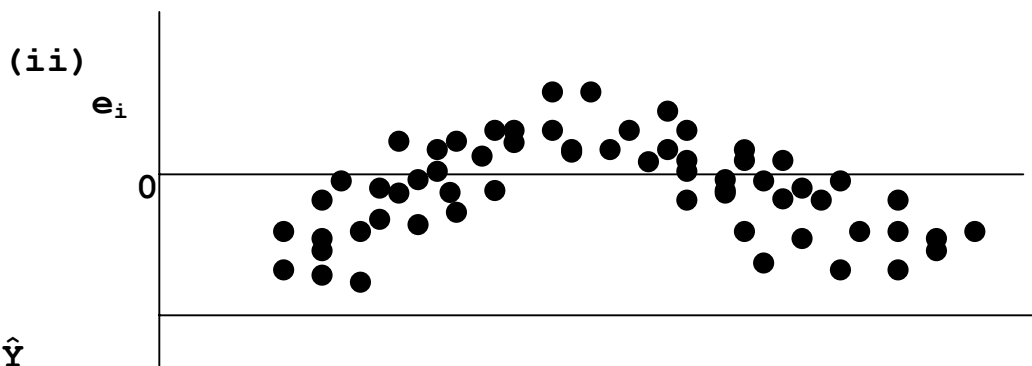
El residual "e" es la diferencia entre el valor real de la variable dependiente Y y el valor predicho por el modelo de regresión \hat{Y} : $e_i = Y_i - \hat{Y}_i$ (Alder, 1980; Clutter *et al.*, 1992; Ratkowsky, 1983).

Los residuales se revisaron con apoyo a las siguientes gráficas:

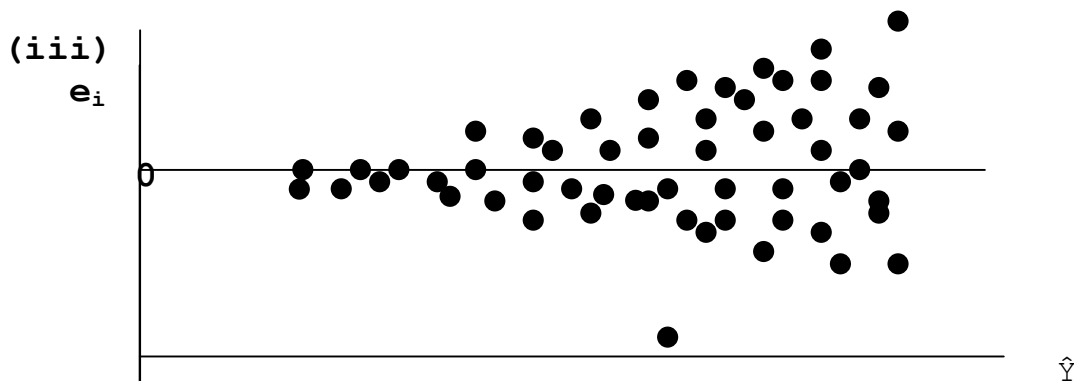
(i)



La gráfica (i) es la situación ideal, con variaciones uniformes de los e_i con respecto a las \hat{Y} . El modelo parece no tener características indeseables.



La gráfica (ii) indica un comportamiento sistemático de los e_i con respecto a \hat{Y} y muestra falta de ajuste. En otras palabras, existe un modelo mejor que el que se está utilizando, usando las mismas variables predictoras básicas, pero con transformaciones adicionales o diferentes, que pueden ajustar y remover la tendencia sistemática de los e_i .



En la gráfica (iii) las varianzas de los e_i no son uniformes respecto a las \hat{Y} . En este caso pueden obtenerse mejores estimados, usando una transformación de la variable Y , o bien usando una regresión ponderada.

Para la selección de los modelos, se compararon los siguientes estadísticos; menor valor de suma cuadrado medio residual (CMR), y para los modelos de incremento se utilizaron; coeficiente de variación (CV), raíz cuadrada del cuadrado medio del

error (\sqrt{CME}) y coeficiente de determinación (R^2). La obtención de los estadísticos fue a partir del análisis de varianza (ANVA) obtenido para cada modelo con el apoyo del paquete estadístico SAS.

El coeficiente de variación (CV) se utilizó para obtener el índice de Furnival (IF) dentro de la aplicación de los siete modelos de incrementos. El IF se utilizó para comparar ecuaciones con variables dependientes transformadas, contra ecuaciones de variable dependiente no transformadas. Sin embargo dichos estadísticos pueden ser comparados solo entre ecuaciones con variable dependiente transformada, o solo entre variables dependientes no transformadas (Alder, 1980; Vanclay, 1994), el Índice de Furnival se representa como:

$$IF = s(\pi f'(y)^{-1})^{1/n} \quad \text{o de la forma siguiente}$$

$$IF = s. \text{ antilog. } ((\sum \log f'(y)^{-1})/n)$$

Donde:

IF= Índice de Furnival.

S = es la desviación estandar residual de la regresión ajustada.

N = el número de datos.

$f'(y)^{-1}$ = Es el recíproco de la derivada de la transformación de la variable Y, con respecto a la misma Y.

3.8 Construcción de familias de curvas para índice de crecimiento

La construcción de familias de curvas se realizó de acuerdo con el procedimiento de la curva guía de Zepeda y Rivero (1984), quienes señalan que las técnicas de construcción de curvas de índice de sitio pueden ser anamórficas o polimórficas, donde la primera se caracteriza por presentar la misma

forma, mientras que en la segunda son familias de líneas con pendiente variable que generalmente no guardan relación de paralelismo entre si. Para este trabajo se utilizaron las curvas anamórficas.

Para construir la familia de curvas se definió la edad base como lo mencionan Zepeda y Rivero (1984), sobre la curva del incremento medio anual (IMA) en altura, diámetro, área basal, y volumen a la edad en la que ésta alcanza su valor máximo.

Para definir el número de curvas y las equidistancias entre sus tendencias promedio a la edad base, se basó en lo propuesto por Zepeda y Rivero (1984), quienes mencionan se deben utilizar cinco curvas, cuya amplitud puede determinarse arbitrariamente o bien dividiendo el rango del diagrama de dispersión en la edad base entre el número de curvas que se desea y sea posible generar.

La construcción de curvas se generó en diagrama de dispersión de los valores individuales de altura, diámetro, área basal y volumen obtenidos del análisis troncal. Con la aplicación del mejor modelo de ajuste se generó la curva guía.

Después se estimaron los valores de los puntos que definen el comportamiento de cada una de las curvas, empleando un coeficiente de proporcionalidad (CP) que resultó de definir el índice de crecimiento entre el índice promedio (en las cuatro variables estudiadas), generando con esto los valores que definen el comportamiento de cada una de las curvas.

3.9 Correlación de las características fisiográficas y climáticas con índices de crecimiento.

Para encontrar la relación concreta e indicar aquellos casos en que los cambios de una variable estén asociados con

los cambios de otra variable, se registraron características fisiográficas tales como: longitud, latitud, altitud, exposición, pendiente, pedregosidad y algunos elementos del clima como las precipitaciones totales durante los meses más y menos lluviosos, así como también las temperaturas máximas y mínimas durante las diferentes épocas del año en que se presentan mayores y menores temperaturas. Se realizó el procedimiento de correlación de Pearson entre los índices de las variables dasométricas altura, diámetro, área basal y volumen y los factores ambientales.

En la interpretación de las correlaciones se consideró que cuando dos variables cambian juntas, en tal forma que un aumento en una de ellas va asociado con un incremento en la otra, se dice que las variables están correlacionadas positivamente. Si el aumento en una variable coincide con una disminución en la otra, se dice que las dos variables están correlacionadas negativamente. Si no hay relación entre las variables se dice que son independientes o que no están correlacionadas.

4 RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1 Crecimiento e incremento de las variables dasométricas

4.1.1 Altura

Para el análisis de crecimiento en altura el modelo seleccionado para edad-altura dominante fue el de Chapman Richards ya que presentó el menor valor de la suma del cuadrado medio residual (C.M.R.). También destacan los modelos de Schumacher, Weillbull, Gompertz y Levacovic I por sus valores mínimos de (S.C.R.) y (C.M.R.), valores cercanos al modelo seleccionado ver (Cuadro 9).

Aguilar (1991) realizó una comparación de 4 modelos matemáticos: Weibull, Schumacher, Gompertz, y Logístico para conocer su bondad de ajuste en crecimiento edad-altura en *Pinus douglasiana* entre 62 a 100 años de edad, en el área de Atenquique, Jalisco. Mediante funciones continuas de forma sigmoideal, los modelos presentaron buenos ajustes y valores altos en sus coeficientes de regresión (r) y sus coeficientes de determinación (R^2) a excepción del modelo Logístico que no recomienda utilizar en este tipo de relaciones, mientras que Weibull y Gompertz sobresalen para crecimiento forestal. En este trabajo se observa que los modelos se aplicaron para edades

Cuadro 9. Análisis de varianza de los modelos de crecimiento utilizados en la relación edad - altura dominante.

MODELO	F V	G L	C M	FC
Schumacher	Regresión	3	701.3726	3346.24 **
	Residual	709	0.2096	
	Total no corregida	712		
	Total corregida	711		
Chapman-Richards	Regresión	3	701.5136	3346.91 **
	Residual	709	0.2096	
	Total no corregida	712		
	Total corregida	711		
Von Bertalanffy	Regresión	3	1048.262	4764.18 **
	Residual	710	0.22003	
	Total no corregida	712		
	Total corregida	711		
Logístico	Regresión	3	700.0732	3254.13 **
	Residual	709	0.215134	
	Total no corregida	712		
	Total corregida	711		
Weibull	Tegresión	3	701.4135	3348.63 **
	Tesidual	709	0.209463	
	Total no corregida	712		
	Total corregida	711		
Gompertz	Regresión	3	709.318	3380.92 **
	Residual	709	0.2098	
	Total corregida	712		
	Total no corregida	711		
Levakovic I	Regresión	3	701.2771	3345.79 **
	Residual	709	0.2096	

	Total no corregida	712		
	Total corregida	711		
Korf	Regresión	3	671.2771	1992.04 **
	Residual	709	0.336979	
	Total no corregida	712		
	Total corregida	711		
Sloboda	Regresión	3	701.2536	3337.24 **
	Residual	709	0.21013	
	Total no corregida	712		
	Total corregida	11		
Monomolecular	Regresión	3	700.8327	3307.06 **
	Residual	709	0.21192	
	Total no corregida	712		
	Total corregida	711		

** Significación al nivel del 1%.

FV = Fuente de variación. GL = Grados de libertad. SC = Suma de cuadrados, CM = Cuadrados medios, FC = F calculada.

maduras, mientras que para el trabajo de *Pinus estevezii* se realizó con regeneración y los modelos Weibull y Gompertz también sobresalen, esto muestra que los modelos pueden ser aplicados para el crecimiento forestal en diferentes especies de *Pinus* y a diferentes edades.

Así mismo en otro trabajo realizado por Madrigal y Ramírez, (1995) compararon nueve modelos entre los que

destacan Schumacher, Chapman-Richard y Weibull para la determinación de índice de sitio en altura dominante con *Pinus douglasiana* y *Pinus lawsonii* en el campo experimental Barranca de Cupatitzio, Uruapan Michoacán. El modelo de crecimiento que presentó mejor bondad de ajuste, por sus estadísticos presentados fue el de Schumacher para ambas especies, este modelo también destaca entre los diez modelos aplicados en el presente trabajo por lo que fortalece la aplicación del modelo en otros trabajos de crecimiento forestal.

La proyección de los valores estimados con el modelo Chapman Richards (Figura 2), se presenta la relación entre el crecimiento en altura dominante de *Pinus estevezii* y la edad. La curva inicia una pendiente muy pronunciada y alcanza su máximo crecimiento a los 14 años de edad y este no disminuye o se estabiliza debido a que los rodales son de edades tempranas. Como es natural, el ritmo de crecimiento de los años más recientes es el que domina la pendiente, ésta a su vez está

Figura 2. Curva ajustada entre edad altura dominante para *Pinus estevezii* en diferentes localidades al Sur del Estado de Nuevo León

regida en parte por las condiciones climáticas y edáficas (Bruce y Schumacher, 1965; Daniel *et al.*, 1982; Klepac, 1976). Pero dentro de un amplio margen de densidades, la altura dominante o codominante es la característica dasométrica menos afectada por la densidad del rodal y está fuertemente correlacionada con la capacidad productiva de un sitio (Spurr y Barnes, 1982; Klepac, 1976).

Para el caso del incremento corriente anual (ICA) e incremento medio anual (IMA) en altura, los modelos presentan transformaciones en la variable dependiente "Y", por lo que para elegir el mejor modelo no bastó utilizar el menor cuadrado medio residual (C.M.R.), sino que para fortalecer y hacer más fuerte la comparación entre modelos se utilizó el Índice de Furnival (IF) y el coeficiente de variación (CV); eligiendo la ecuación que mejor ajustó y el que tuvo menor índice, resultando para altura el modelo número 7. (Apéndice I).

En la Figura 3, las curvas de ICA e IMA se derivan del ajuste en altura dominante con la edad. Las curvas se cruzan en el IMA máximo a la edad de 14 años. Es evidente que mientras la curva del ICA se encuentre por encima de la curva del IMA esta última tiende a subir. Además, se puede observar claramente que a medida que las edades avanzan existe una disminución de

Figura 3. Curvas de ajuste de incremento corriente anual (ICA) y media anual (IMA) para altura dominante de regeneración de 1.30 metros de altura en *Pinus estevezii*.

incrementos tanto para ICA como para IMA. También este punto de unión es de importancia para definir el turno silvícola (Zepeda y Rivero, 1984).

4.1.2 Diámetro

El mejor modelo de ajuste para el crecimiento en diámetro a la base fue el modelo Weibull, por su menor cuadrado medio residual (C.M.R.), destacando también los modelos Logístico y el de Gompertz por sus valores mínimos y cercanos al modelo seleccionado (Cuadro 10).

González (1997) en un estudio de calidad de sitio, crecimiento e incremento de la regeneración de *Pinus rudis* Endl. en la región de San José de la Joya, Galeana, Nuevo León, de seis modelos de crecimiento utilizados también seleccionó el modelo

Weibull, por su mejor ajuste para diámetro y por presentar menor cuadrado medio residual (C.M.R.) y el mayor coeficiente de determinación (R^2).

Sin embargo en otros estudios realizados de validación de modelos que predicen y proyectan la distribución diamétrica en bosques de *Pinus* y *Quercus*, Valles *et al.*, (1999) llevaron a cabo un estudio de validación de modelos de crecimiento en diámetro y altura para *Pinus cooperi* en la región de San Dimas, Durango

Cuadro 10. Análisis de varianza de los modelos de crecimiento utilizados en la relación edad - diámetro.

MODELO	F V	G L	C M	FC
Schumacher	Regresión	3	1042.2094	1469.2094 **
	Residual	419	0.7090249	
	Total no corregida	422		
	Total corregida	421		
Chapman-Richards	Regresión	3	1043.35270	1488.7186 **
	Residual	419	0.70083940	
	Total no corregida	422		
	Total corregida	421		
Von Bertalanffy	Regresión	2	1540.96534	1893.6365 **
	Residual	420	0.8137598	
	Total no corregida	422		
	Total corregida	421		
Logístico	Regresión	3	1044.5147	1508.2820 **
	Residual	419	0.6925195	

	Total no corregida	422		
	Total corregida	421		
Weibull	Regresión	3	1043.91972	1498.2065 **
	Residual	419	0.6967796	
	Total no corregida	422		
	Total corregida	421		
Gompertz	Regresión	3	1043.74897	1495.3378 **
	Residual	419	0.6980021	
	Total corregida	422		
	Total no corregida	421		
Levakovic I	Regresión	3	1025.25757	1234.6553 **
	Residual	419	0.8303998	
	Total no corregida	422		
	Total corregida	421		
Korf	Regresión	2	1467.7649	1262.7749 **
	Residual	420	1.1623330	
	Total no corregida	422		
	Total corregida	421		
Sloboda	Regresión	3	1042.14306	1468.8408 **
	Residual	419	0.7095003	
	Total no corregida	422		
	Total corregida	421		
Monomolecular	Regresión	3	1042.0548	1467.4104 **
	Residual	419	0.7101318	
	Total no corregida	422		
	Total corregida	421		

** Significación al nivel del 1%.

FV = Fuente de variación. GL = Grados de libertad. SC = Suma de cuadrados, CM = Cuadrados medios, FC = F calculada.

se aplicaron seis modelos de tipo cuadrático, lineal y exponencial. Los resultados obtenidos indicaron que el mejor modelo para predecir el crecimiento en diámetro fue el modelo cuadrático por su valor más alto en el coeficiente de determinación (R^2). Lo anterior muestra que otras ecuaciones puedan ajustarse a las estructuras diamétricas con otras especies y en diferentes regiones del país y, sin esperar que el modelo Weibull deba considerarse general.

La Figura 4 corresponde a la curva de crecimiento en diámetro, la cual también muestra una forma de "S" como en la curva de crecimiento en altura, el crecimiento va en ascenso continuo hasta los 19 años de edad, después se estabiliza y se mantiene sin incremento. Es importante mencionar que el crecimiento en diámetro depende más del ambiente y es mayor cuando hay más espacio, el incremento varía con las especies, pero la influencia de la densidad sobre el diámetro es evidente en todas las especies.

Por otra parte, bajo condiciones normales el incremento en diámetro es poco al principio, después aumenta hasta alcanzar una fase de alta actividad y disminuye gradualmente, llegando a ser muy reducido en árboles viejos (Klepac, 1976).

Figura 4. Curva de ajuste entre edad diámetro a la base para *Pinus estevezii* en diferentes localidades al Sur del Estado de Nuevo León.

Para elegir el modelo de incrementos corriente anual ICA y medio anual IMA en diámetro, dadas las transformaciones de la variable "Y", así mismo se utilizaron los estadísticos Índice de Furnival (IF) y coeficiente de variación (CV) pero también considerando el cuadrado medio residual (CMR). El mejor modelo fue el número 7 por presentar menor (CMR) y menor (IF) (Apéndice II).

En la Figura 5 se muestran los incrementos marcados en las primeras edades; en el caso de ICA al principio aumenta con la edad en forma relativamente rápida, antes de la mitad del largo de vida de la curva alcanzando un máximo incremento de 0.36 cm a la edad de 9 años y luego decrece en forma lenta, mientras que IMA tiene su culminación en la intersección con la curva de ICA a la edad de

14 años, desde este punto la curva de IMA decae en forma más suave que la curva de ICA.

4.1.3 Área basal

Para la variable área basal el modelo de mejor ajuste fue el de Schumacher ya que presentó el menor valor de cuadrado medio residual (C.M.R.). También destaca el modelo Sloboda (Cuadro 11).

Figura 5. Curva de ajuste de incremento corriente anual (ICA) y media anual (IMA) en diámetro a la base en regeneración de *Pinus estevezii*.

Cuadro 11. Análisis de varianza de los modelos de crecimiento utilizados en la relación edad - área basal.

MODELO	F V	G L	C M	FC
Schumacher	Regresión	3	9088.30825 2	492.04558 **
	Residual	419	18.470460	
	Total no corregida	422		
	Total corregida	421		
Chapman- Richards	Regresión	3	9076.61151 0	489.19423 **
	Residual	419	18.554208	
	Total no corregida	422		
	Total corregida	421		
Von Bertalanffy	Regresión	1	25626.0729 2	1150.4165 **
	Residual	421	22.275474	
	Total no corregida	422		
	Total corregida	421		
Logístico	Regresión	3	9070.84857 8	487.79883 **
	Residual	419	18.595470	
	Total no corregida	422		
	Total corregida	421		
Weibull	Regresión	3	9066.30378	486.70275 **
	Residual	419	18.628010	
	Total no corregida	422		
	Total corregida	421		
Gompertz	Regresión	3	9077.53376	489.42191

			4	**
	Residual	419	18.547461	
	Total corregida	422		
	Total no corregida	421		
Levakovic I	Regresión	2	13134.0073 5	631.44028 **
	Residual	420	20.800078	
	Total no corregida	422		
	Total corregida	421		
Korf	Regresión	2	12102.8997 3	470.74466 **
	Residual	420	25.710114	
	Total no corregida	422		
	Total corregida	421		
Sloboda	Regrasión	3	9088.17511	492.01299 **
	Residual	419	18.471413	
	Total no corregida	422		
	Total corregida	421		
Monomolecular	Regresión	3	8991.06860	469.09873 **
	Residual	419	19.166687	
	Total no corregida	422		
	Total corregida	421		

** Significación al nivel del 1%.

**FV = Fuente de variación. GL = Grados de libertad.
SC = Suma de cuadrados, CM = Cuadrados medios, FC = F calculada.**

En la Figura 6 se muestra la curva de crecimiento ajustada entre edad área basal, se

observa que a los tres años de crecimiento en área basal es prácticamente insignificante. La curva a partir de los 9 años toma un crecimiento con mayor velocidad, mostrando mayor pendiente hasta los 18 años, posteriormente la curva casi se estabiliza sin incremento perceptible.

El área basal también se ve afectado por la calidad de sitio, una mejoría ocasionaría un notable incremento, al igual que los tratamientos silvícolas ayudarían en la acumulación del área basal como lo menciona Daniel *et al.* (1982).

El mejor modelo de ajuste para los incrementos de (ICA) e (IMA) en área basal fue el número 7 por presentar valores bajos en cuadrado medio residual (C.M.R.) y menor Índice de Furnival (IF) (Apéndice III).

En la Figura 7 las curvas se cruzan a la edad de 17 años y presentan un comportamiento similar a la característica diámetro ya que el área basal depende y está en función del diámetro.

Figura 6. Curva de ajuste entre edad y área basal para *Pinus estevezii* en diferentes localidades al Sur del Estado de Nuevo León.

Figura 7. Curvas de ajuste de incremento corriente anual (ICA) y medio anual (IMA) en área basal de la regeneración de *Pinus estevezii*.

4.1.4 Volumen

En el caso del crecimiento en volumen, el modelo Schumacher fue seleccionado por sus valores más bajos de cuadrado medio residual (C.M.R.) con respecto a los 10 modelos probados, (Cuadro 12). González (1997) al modelar el crecimiento en volumen para regeneración de *Pinus rudis* seleccionó al modelo Weibull, pero también recomienda el modelo Logístico por su alto valor en el coeficiente de determinación (R^2).

En la Figura 8 se presenta el crecimiento en volumen, la curva muestra una forma de "S" pero un poco extendida, se aprecia a los 5 años de edad comenzando así un crecimiento continuo sin detenerse. Cabe observar que el crecimiento en volumen aumenta paralelamente con la altura y el diámetro y presenta un punto de inflexión más tarde que el crecimiento en altura, diámetro y área basal como señala Klepac (1976), este acontecimiento se explica por que el incremento en diámetro interviene al cuadrado en el incremento en volumen, de tal manera que al disminuir el incremento en diámetro no necesariamente disminuye el incremento en volumen. Si bien, el incremento en área basal se traduce en volumen, la reducción del diámetro ocasionaría una consecuente reducción en el volumen.

Cuadro 12. Análisis de varianza de los modelos de crecimiento utilizados en la relación edad - volumen.

MODELO	F V	G L	C M	FC
Schumacher	Regresión	3	183727052.56	422.42 **
	Residual	543	434942.72	
	Total no corregida	546		
	Total corregida	545		

Chapman-Richards	Regresión	3	183371138.14	421.31 **
	Residual	543	435251.64	
	Total no corregida	546		
	Total corregida	545		
Von Bertalanffy	Regresión	2	265573403.58	563.88 **
	Residual	544	470971.04	
	Total no corregida	546		
	Total corregida	545		
Logístico	Regresión	3	183308499.39	419.23 **
	Residual	543	437255.22	
	Total no corregida	546		
	Total corregida	545		
Weibull	Regresión	1	499511833.25	945.77 **
	Residual	545	528152.70	
	Total no corregida	546		
	Total corregida	545		
Gompertz	Regresión	3	183656356.05	421.87 **
	Residual	543	435333.31	
	Total corregida	546		
	Total no corregida	545		
Levakovic I	Regresión	3	177830481.53	330.37 **
	Residual	543	467520.46	
	Total no corregida	546		
	Total corregida	545		
Korf	Regresión	2	256353950.90	507.76 **
	Residual	544	504866.09	
	Total no corregida	546		
	Total corregida	545		
Sloboda	Regresión	3	183711422.53	422.29 **
	Residual	543	435029.07	

	Total no corregida	546		
	Total corregida	545		
Monomolecular	Regresión	3	181838392.39	408.28 **
	Residual	543	445377.30	
	Total no corregida	546		
	Total corregida	545		

** Significación al nivel de 1%.

FV = Fuente de variación, GL =Grados de libertad SC = Suma de cuadrados, CM = Cuadrados medios, FC = F calculada.

Figura 8. Curva de ajuste entre edad y volumen sin corteza en *Pinus estevezii* de diferentes localidades al Sur del Estado de Nuevo León.

El mejor modelo de ajuste para los incrementos corriente anual (ICA) y medio anual (IMA) en volumen, resultó el modelo número 7, por su menor cuadrado medio residual (CMR) y menor Índice de Furnival (IF) (Apéndice IV).

En la Figura 9 las curvas siguen una tendencia en forma de campana similar a la de altura, diámetro y área basal, pero en este caso las curvas tienen un ligero desplazamiento con respecto a los datos originales, por lo que el ajuste de dichas curvas con el modelo 7 se muestran desplazadas por lo tanto no existe un adecuado ajuste para ambas curvas. Es posible que la influencia de un crecimiento lento al inicio modifique el comportamiento de la curva de incremento desplazándola a un extremo.

4.2 Construcción de curvas anamórficas de índice de crecimiento

4.2.1 Índice de crecimiento en altura dominante

El modelo utilizado para determinar la curva guía fue el modelo Chapman - Richards, utilizado en la curva de ajuste en la característica altura y a partir de ésta se construyeron las curvas paralelas y correspondientes a los diferentes índices de sitio.

Los valores de la curva guía se utilizaron para determinar un coeficiente de proporcionalidad (CP) el cual resultó dividir

Figura 9. Curvas ajustadas de incremento corriente anual (ICA) y media anual (IMA) en volumen sin corteza de regeneración de *Pinus estevezii*.

la altura de los índices 3.2, 2.7, 2.2, 1.7 y 1.2 entre el valor de índice promedio (Cuadro 13.)

Cuadro 13. Valores índice en altura a la edad base de 14 años y su respectivo coeficiente de proporcionalidad.

Índice en altura (m)	Coficiente de proporcionalidad
3.20	1.4545455
2.70	1.2272727
2.20	1.0000000
1.70	0.7727272
1.20	0.5454545

Se determinaron cinco curvas anamórficas de índice en altura, mediante la curva ajustada por el modelo Chapman-Ricards, a distancias entre índices de 0.5 m donde la decisión estuvo determinada en función de la amplitud del diagrama de dispersión, (Cuadro 14 y Figura 10).

4.2.2 Determinación de índices en altura para los rodales evaluados

Con los valores promedio de altura y edad a cada rodal se le asignó un índice, cuyos valores resultan de comparar los promedios de alturas y edades medias de los rodales, con las alturas estimadas por edad y calidad de sitio, los valores de índice de sitio quedaron dentro del rango de 3.20 a 1.20, correspondiendo el valor más alto por su productividad el valor 3.20 disminuyendo sucesivamente los valores de productividad hasta el valor 1.20 como se muestra en el (Cuadro 15).

Cuadro 14. Alturas estimadas por edad e índice en altura a una edad base de 14 años.

Edad	Índices en altura				
	3.20	2.70	2.20	1.70	1.20
1	0.06707	0.05659	0.04611	0.03563	0.02515
2	0.21494	0.18135	0.14777	0.11419	0.08060
3	0.41279	0.34829	0.28379	0.21929	0.15479
4	0.64324	0.54274	0.44223	0.34172	0.24122
5	0.89431	0.75458	0.61484	0.47510	0.33537
6	1.15724	0.97642	0.79560	0.61478	0.43396
7	1.42550	1.20276	0.98003	0.75730	0.53456
8	1.69421	1.42949	1.16477	0.90005	0.63533
9	1.95972	1.65352	1.34731	1.04110	0.73490
10	2.21933	1.87256	1.52579	1.17902	0.83225
11	2.47107	2.08496	1.69886	1.31276	0.92665
12	2.71353	2.28954	1.86555	1.44156	1.01757
13	2.94576	2.48548	2.02521	1.56493	1.10466
14	3.16717	2.67230	2.17743	1.68256	1.18769
15	3.37745	2.84973	2.32200	1.79427	1.26655
16	3.57648	3.01765	2.45883	1.90000	1.34118
17	3.76433	3.17616	2.58798	1.99980	1.41163
18	3.94121	3.32539	2.70958	2.09377	1.47795
19	4.10736	3.46558	2.82381	2.18203	1.54026
20	4.26316	3.59704	2.93092	2.26480	1.59868
21	4.40899	3.72008	3.03118	2.34228	1.65337
22	4.54531	3.83510	3.12490	2.41470	1.70449
23	4.67255	3.94247	3.21238	2.48229	1.75221
24	4.79119	4.04256	3.29394	2.54532	1.79669
25	4.90167	4.13579	3.36990	2.60401	1.83813
26	5.00449	4.22254	3.44059	2.65844	1.87669

27	5.10007	4.30319	3.50630	2.70941	1.91253
28	5.18887	4.37811	3.56735	2.75659	1.94583
29	2.27130	4.44766	3.62402	2.80038	2.97674
30	5.34778	4.51219	3.67660	2.84101	2.00542
31	5.41871	4.57203	3.72536	2.87869	2.03201
32	5.48442	4.62748	3.77054	2.91360	2.05666
33	5.54529	4.67884	3.81239	2.94594	2.07949
34	5.60167	4.72641	3.85115	2.97589	2.10063
35	5.65385	4.77043	3.88702	3.00361	2.12019

Figura 10. Curvas anamórficas de índice de crecimiento en altura para la regeneración de *Pinus estevezii* a la edad base de 14 años, al Sur del Estado de Nuevo León.

Cuadro 15. Índices en altura por rodal.

Rodal	Edad media por rodal (años)	Altura media por rodal (m)	Índice de altura	Calidad de sitio
1	8.04	1.38	2.70	II
2	7.88	1.36	3.20	I
3	9.36	1.49	2.20	III

4	10.74	1.95	2.70	II
5	7.77	1.38	2.20	III
6	9.51	1.31	1.70	IV
7	9.03	1.34	1.70	IV
8	9.37	1.42	2.20	III
9	8.34	1.22	2.20	III
10	11.97	1.84	2.20	III
11	11.03	1.41	1.70	IV
12	9.50	1.51	2.20	III
13	8.69	1.53	2.70	II
14	9.82	1.24	1.70	IV
15	12.13	1.21	1.20	V
16	9.91	1.17	1.70	IV
17	12.38	1.31	1.20	V
18	10.33	1.52	2.20	III
19	9.88	1.85	2.70	II
20	9.96	1.62	2.20	III
21	11.03	1.70	2.20	III
22	15.82	1.91	1.70	IV
23	11.66	1.71	2.20	III
24	11.08	1.51	1.70	IV

4.2.3 Índice de crecimiento en diámetro

La aplicación de índices de crecimiento en diámetro, área basal y volumen en el presente trabajo no obedece a la estimación de índices de sitio para los rodales evaluados, sino más bien como indicadores de crecimiento, que nos ayudan a entender las relaciones de las variables con respecto a la edad.

Mediante la ecuación Weibull se construyó la curva guía y, con el apoyo del diagrama de dispersión se definió una distancia entre índices de sitio de 0.7 cm (Figura 11) a una edad base de 14 años. Con los valores de la curva guía y los índices se determinaron los coeficientes de proporcionalidad.

En el Apéndice V se presentan los diámetros estimados por edad e índices a una edad base de 14 años. Así también en el Apéndice VI se muestran los índices diámetro por rodal.

4.2.4 Índice de crecimiento en área basal

Con el modelo schumacher se construyó la curva guía en área basal, las distancias entre índices de sitio fue de 3.5 cm^2 a una edad base de 17 años. Se definieron cinco familias de curvas, los valores de índices de sitio fueron 19.5, 16.0,

12.5, 9.0 y 5.5 y para construir la familia de curvas se determinaron los siguientes coeficientes de proporcionalidad para área basal Figura 12.

En el Apéndice VII se muestran las áreas basales por edad e índices. En el Apéndice VIII también se presentan las áreas basales por rodal.

Figura 11. Curvas anamórficas de índice de crecimiento en diámetro para la regeneración de *Pinus estevezii* a la edad base de 14 años, al Sur del Estado de Nuevo León.

Figura 12. Curvas anamórficas de índice de crecimiento en área basal para la regeneración de *Pinus estevezii* a la edad de 17 años al Sur del Estado de Nuevo León.

4.2.5 Índice de crecimiento en volumen

El modelo que se utilizó en la construcción de la curva guía para el índice de sitio en volumen fue el de Schumacher, porque mostró buen ajuste en el crecimiento en volumen. Las distancias entre índices fue de 0.35 cm^3 a una edad base de 20 años, también se definieron cinco familias de curvas anamórficas. Los valores de índice de sitio fueron 2.00, 1.65, 1.30, 0.95 y 0.60 los coeficientes de proporcionalidad (Figura 13).

En el Apéndice IX se muestran los volúmenes estimados por edad e índices de sitio a una edad base de 20 años. Se presenta también en el Apéndice X los índices de sitio en volumen por rodal.

4.3 Correlación de factores fisiográficos y climáticos e índices de crecimiento.

De las correlaciones realizadas (Cuadro 19) se puede apreciar que la longitud geográfica (LONG) presenta un coeficiente de correlación positiva de ($r = 0.44$) significativo ($p > 0.03$), que influye ligeramente dentro del área de estudio sobre el crecimiento en altura de los árboles (IH), lo que puede interpretarse que a medida que aumenta la longitud aumenta el crecimiento en altura.

Figura 13. Curvas anamórficas de índice de crecimiento en volumen para la regeneración de *Pinus estevezii* a la edad de 19 años al Sur del Estado de Nuevo León. Cuadro 19. Valores de correlaciones de Pearson (r) significativos entre factores fisiográficos e índices de crecimiento.

	IH	ID	IAB	IV
LONG	0.43973 (0.03155)			
LAT		-0.42952 (0.0362)		
IH		0.66531 (0.0004)	0.60191 (0.0019)	0.5554 (0.0048)
ID			0.87134 (0.0001)	0.48416 (0.0165)
IAB				0.57226 (0.0035)

LONG = Longitud geográfica; LAT = Latitud; IH = Índice de altura; ID = Índice de diámetro; IAB = Índice de área basal e IV = Índice en volumen.

Lo anterior se puede relacionar que debido a la presencia de la cadena montañosa de la Sierra Madre Oriental orientada más o menos de Noroeste a Sureste hacia el Golfo de México, se puede atribuir que la influencia de los vientos en dirección positiva de la longitud chocan con las laderas de barlovento provocando el ascenso de las masas de aire que conlleva a la precipitación hasta en los lugares donde los vientos se tornan suaves según la proporción de humedad que acarree del Golfo, este fenómeno tiene relación con el crecimiento en altura de los árboles, además este factor hace que oscilen las condiciones climáticas a nivel local.

La latitud presenta correlación negativa ($r = -0.43$) y significativa ($pr > 0.04$) que afecta sobre el crecimiento en diámetro (ID), es decir que a medida que la latitud disminuye, el diámetro de los árboles se ve favorecido en su crecimiento. Pudiera atribuirse este efecto, debido a que las temperaturas disminuyen con el aumento de la distancia del Ecuador hacia los polos, además por el efecto del fotoperiodo puede tener efectos la

temperatura y además sobre las estaciones de crecimiento más cortos a medida que aumente la latitud dentro del área estudiada.

El índice en altura (IH) presentó correlación significativa y positiva con el índice en diámetro (ID), índice en área basal (IAB) y con el índice en volumen (IV), ya que estas variables dasométricas están estrechamente relacionadas con la altura, mientras la densidad no afecte directamente sobre el crecimiento en diámetro, éste tiende a aumentar por lo que se eleva la magnitud de el área basal y se sostenga la relación lineal entre el área basal y el volumen. El índice en diámetro (ID) presentó correlación altamente significativa y positiva con el índice en área basal (IAB) y correlación positiva con el índice en volumen (IV), por la razón de que a medida que incrementa el diámetro el área basal aumenta, y el volumen que depende también del incremento en diámetro aumenta. El índice en área basal (IAB) presentó correlación significativa y positiva con el índice en volumen (IV), esta relación es común debido a que el diámetro es la característica que afecta más al volumen y el área basal es derivada del diámetro.