

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO FORESTAL



Elaboración de Tabla de Producción para *Pinus rudis* Endl., en el Sur del Estado
de Nuevo León

Por:

ERICK PAUL VARGAS VARGAS

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO FORESTAL

Saltillo, Coahuila, México.

Marzo de 2015.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO FORESTAL

Elaboración de Tabla de Producción para *Pinus rudis* Endl., en el Sur del
Estado de Nuevo León

Por:

ERICK PAUL VARGAS VARGAS

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

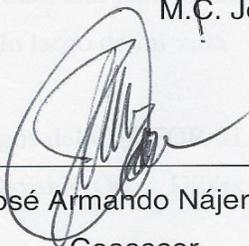
INGENIERO FORESTAL

Aprobada



M.C. José Aniseto Díaz Balderas

Asesor Principal



M.C. José Armando Nájera Castro

Coasesor



M.C. Héctor Darío González López

Coasesor



Dr. Leobardo Bañuelos Herrera

Coordinador de la División de Agronomía

División de Agronomía

Saltillo, Coahuila, México.

Marzo de 2015.

DEDICATORIA

A mis padres, Alberto Vargas Hermenegildo y Evelia Vargas Avelino, por darme la vida y no conformes con ello, su apoyo moral, sus consejos, sus palabras de aliento, y una gran familia, por nunca dudar de mí, e inculcarme el deseo de superación, por convertirme en la persona que soy ahora, por todo esto y mucho más.

A mis hermanos, José Alberto, Merly Guadalupe y Ángel Aarón, por ser esas personas con las que comparto los momentos de felicidad, por todo el apoyo que me brindan y por dejarme ser su hermano y amigo.

A mis nuevos hermanos recién llegados, Cinthia Michel, José Pablo y Cesar por compartir esos pequeños pero inolvidables momentos de familia, porque en el lugar que te extrañan ese es tu hogar.

A mis abuelos, José Vargas, Cecilia Hermenegildo (†), Leonardo Vargas y María de Jesús Avelino, por sus palabras de aliento, sus agradables pláticas, sus buenos consejos.

A mis tíos, primos y sobrinos, en general a la familia Vargas Avelino y familia Vargas Hermenegildo, una gran familia con la que compartir grandes momentos, por el apoyo brindado a lo largo de mi vida.

A mis amigos del CECFOR 01, Cindy Guadalupe, Jonathan Garfias, Jesús Aceves, Mónica Alonso, Osvaldo Ortiz, Ulises Ramírez, Fernando Meza, José Ignacio Garfias, Francisco Flores.

A esas personas de las que siempre espero su sinceridad y amistad por encima de todo, Yabal Alfaro, Leopoldo Damián, Carmen Espinoza, Rosa Linda Mondragón, Jonathan Sánchez, Ana Gabriela Ramírez.

En general a todas aquellas personas que de alguna u otra manera participaron en mi formación como persona.

AGRADECIMIENTOS

A mi “ALMA TERRA MATER”, la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, por permitirme realizar una meta más en mi vida y permitirme obtener una profesión para la vida.

Al departamento Forestal y toda su plantilla de profesores, por brindarme los conocimientos y el apoyo para mi formación como profesionista.

Al M.C. José Aniseto Díaz Balderas, por el asesoramiento, la dedicación, revisión y por sus conocimientos brindados para la realización del presente trabajo.

Al M.C. Héctor Darío Gonzáles López, por sus consejos, paciencia y asesoramiento en las revisiones del presente trabajo.

Al M.C. José Armando Nájera Castro, por sus consejos, asesoramiento y su valiosa aportación para la culminación de la presente tesis.

A los compañeros de la carrera de Ingeniero Forestal que me ayudaron en la recolección de datos, Leticia Jiménez, Marino García, José Luis Antonio, José Luis Pérez Leopoldo Damián, Yabal Alfaro, Jonathan Sánchez, Madeni Arévalo.

A los compañeros, Fabiola, Gabriel, Brianda, Gustavo, Alejandro, Ubaldo, Celso, Brisa, Alejandro, Judith, Julio Cesar, Juan Gerardo, Leonel, Eleazar, Migdalia y demás con los que conviví y que compartí gratos momentos en las prácticas y salones de clase.

A la familia Alfaro Castillo, por permitirme realizar mis prácticas profesionales con ustedes, gracias por el apoyo brindado durante mi estadía.

Un agradecimiento muy especial a la familia Romero Guerrero y a mi ahijado Juan David Jahaziel, gracias por permitirme ser parte de su familia.

ÍNDICE DE CONTENIDO

	Página
ÍNDICE DE CUADROS.....	v
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vii
RESUMEN.....	ix
ABSTRACT.....	x
I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Objetivo general.....	2
1.1 Objetivos específicos.....	2
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
2.1 Descripción de la especie.....	4
2.1.1 Distribución y hábitat.....	4
2.1.2 Clima y suelos.....	5
2.2 Productividad de los sitios.....	5
2.2.1 Factores que afectan la productividad.....	6
2.2.2 Formas de evaluación de la productividad.....	8
2.2.3 Calidad de sitio.....	9
2.2.4 Índice de sitio.....	12
2.3 Competencia.....	15
2.4 Turno.....	17
2.5 Densidad.....	18
2.5.1 La productividad en función de la densidad.....	18
2.5.2 Volumen en función de la densidad.....	20
2.5.3 Formas para evaluar la densidad.....	21
2.6 Tablas de producción.....	24

2.6.1	Aplicación de las tablas de producción.....	25
2.6.2	Tipos de tablas de producción.....	25
2.6.3	Metodologías de elaboración	26
2.6.4	Trabajos afines.....	27
III.	MATERIALES Y MÉTODOS	29
3.1	Descripción del área.....	29
3.1.1	Clima	29
3.1.2	Suelo	31
3.1.3	Vegetación	31
3.1.4	Fisiografía.....	31
3.1.5	Hidrología superficial.....	32
3.2	Metodología.....	32
3.2.1	Sistema de muestreo y tamaño de los sitios	32
3.2.2	Tamaño, forma y criterios de selección de los sitios	33
3.2.3	Variables evaluadas	33
3.3	Estimación de la calidad de sitio	35
3.3.1	Determinación de diferentes parámetros dasométricos a partir del diámetro del tocón.....	35
3.3.1.1	Modelos de crecimiento utilizados para la determinación del índice de sitio y la edad base	36
3.3.1.2	Determinación de la edad base	38
3.3.1.3	Determinación del índice de sitio por medio del método de la curva guía	39
3.3.2	Metodología para la construcción de la tabla de producción para <i>Pinus rudis</i> Endl.	40
3.3.2.1	Cálculo del número de árboles por hectárea	40

3.3.2.2	Determinación del diámetro con base a la altura	41
3.3.2.3	Cálculo del área basal por hectárea	41
3.3.2.4	Cálculo del volumen por hectárea.....	42
3.3.2.5	Elaboración de las tablas de producción por índice de sitio.....	42
3.3.2.6	Cálculo de la remoción	43
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	45
4.1	Correlaciones alométricas	45
4.2	Estimación de las variables dasométricas por medio del diámetro del tocón.....	45
4.2.1	Estimación de diámetro normal a partir del diámetro del tocón	45
4.2.2	Estimación de altura a partir del diámetro del tocón.....	47
4.2.3	Estimación de la edad a partir del diámetro del tocón	48
4.3	Definición del turno o edad base	49
4.4	Calidad de sitio e índice de sitio	55
4.5	Elaboración de la tabla de producción.....	61
4.5.1	Determinación del número de árboles.....	61
4.5.1.1	Determinación del Diámetro cuadrático	61
4.5.1.2	Cálculo de la densidad.....	62
4.5.2	Determinación del diámetro en base a la altura	65
4.6	Tabla de producción	67
4.6.1	Número de árboles por hectárea por clase de edad	68
4.6.2	Area basal por hectárea por clase de edad e índice de sitio	70
4.6.3	Volumen por hectárea por clase de edad e índice de sitio	71
4.7	Tabla de producción para el índice de sitio promedio y densidad máxima del 90%	73

V.	CONCLUSIONES	78
VI.	RECOMENDACIONES.....	80
VII.	LITERATURA CITADA	82
VIII.	ANEXOS	90

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Ubicación geográfica de las diferentes áreas para la obtención de sitios de muestreo de <i>Pinus rudis</i> Endl. en el Estado de Nuevo León.....	29
Cuadro 2. Hidrología superficial en el área de estudio.....	32
Cuadro 3. Tamaño de la muestra en cada área para <i>Pinus rudis</i> Endl. en el sur del Estado de Nuevo León.....	33
Cuadro 4. Modelos utilizados para el cálculo de diámetro normal, altura y edad a partir del diámetro del tocón.	35
Cuadro 5. Modelos de crecimiento utilizados para el ajuste de altura y diámetro en base a la edad para <i>Pinus rudis</i> Endl. en el sur del Estado de Nuevo León.....	37
Cuadro 6. Correlaciones alométricas para <i>Pinus rudis</i> Endl. en tres localidades del sur de Nuevo León.....	45
Cuadro 7. Parámetros estadísticos de los modelos analizados y su calificación para la definición del turno o la edad base para <i>Pinus rudis</i> Endl. en tres localidades del sur de Nuevo León.....	54
Cuadro 8. Parámetros estadísticos de los modelos analizados y su calificación para la definición de la curva guía Para <i>Pinus rudis</i> Endl. en tres localidades del sur de Nuevo León.....	56

Cuadro 9. Clases de calidad de sitio e índices de sitio y coeficientes de proporcionalidad para <i>Pinus rudis</i> Endl. de tres localidades del sur de Nuevo León.....	57
Cuadro 10. Alturas por clase de edad para los diferentes índices de sitio de <i>Pinus rudis</i> Endl. en tres localidades del sur de Nuevo León.....	59
Cuadro 11. Valores del diámetro normal y diámetro cuadrático medio por sitio para <i>Pinus rudis</i> Endl. en tres localidades del sur de Nuevo León.....	62
Cuadro 12. Valores de densidad media máxima, densidad al 100% y densidad al 90% en <i>Pinus rudis</i> Endl. para tres localidades del sur de Nuevo León.....	64
Cuadro 13. Parámetros estadísticos de los modelos analizados y su calificación para la determinación del diámetro en base a la altura para rodales de densidad completa de <i>Pinus rudis</i> Endl en tres localidades del sur de Nuevo León.....	66
Cuadro 14. Tabla de producción para <i>Pinus rudis</i> Endl. a un índice de sitio de 20.4 y densidad del 90% para 3 localidades del sur de Nuevo León.....	74

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de localización de las áreas bajo estudio de <i>Pinus rudis</i> Endl. en tres localidades del sur de Nuevo León.....	30
Figura 2. Modelo ajustado para el cálculo del diámetro normal a partir del diámetro del tocón para <i>Pinus rudis</i> Endl. en tres localidades del sur de Nuevo León.....	46
Figura 3. Modelo ajustado para el cálculo de la altura a partir del diámetro del tocón para <i>Pinus rudis</i> Endl. en tres localidades del sur de Nuevo León.....	48
Figura 4. Modelo ajustado para el cálculo de la edad a partir del diámetro del tocón para <i>Pinus rudis</i> Endl. en tres localidades del sur de Nuevo León.....	49
Figura 5. Modelo de Weibull utilizado para el cálculo de ICA e IMA en Diámetro y para la curva de crecimiento en Diámetro para <i>Pinus rudis</i> Endl., en tres localidades del sur de Nuevo León.	50
Figura 6. Curvas de ICA e IMA como apoyo para determinar la edad base, para <i>Pinus rudis</i> Endl., en tres localidades del sur de Nuevo León.....	51
Figura 7. Curva de crecimiento y la recta tangente como apoyo para definir el turno absoluto de <i>Pinus rudis</i> Endl., en tres localidades del sur de Nuevo León.....	52
Figura 8. Modelo de Weibull ajustado a los valores de edad-altura para la determinación de la curva guía para <i>Pinus rudis</i> Endl., en tres localidades en el sur de Nuevo León.....	57

Figura 9. Familia de curvas anamórficas de índice de sitio para <i>Pinus rudis</i> Endl., en rodales de densidad completa para tres localidades del sur de Nuevo León.....	58
Figura 10. Predicción de diámetro normal en función de la altura en rodales de <i>Pinus rudis</i> Endl. en tres localidades del sur de Nuevo León.....	65
Figura 11. Número de árboles por hectárea para cada índice de sitio en rodales de <i>Pinus rudis</i> Endl. en tres localidades del sur de Nuevo León.....	69
Figura 12. Número de árboles por hectárea para cada índice de sitio en rodales de <i>Pinus rudis</i> Endl. en tres localidades del sur de Nuevo León.....	69
Figura 13. Área basal por hectárea en los diferentes índices de sitio para rodales de densidad completa en <i>Pinus rudis</i> Endl. en tres localidades del sur de Nuevo León.....	70
Figura 14. Volumen por hectárea (m ³ /ha) en cada uno de los índices de sitio para rodales de densidad completa de <i>Pinus rudis</i> Endl. para tres localidades al sur de Nuevo León.....	72
Figura 15. Remociones y producción total en volumen por hectárea para un índice de sitio promedio de 20.4 y densidad del 90% de <i>Pinus rudis</i> Endl. para tres localidades del sur de Nuevo León.....	75
Figura 16. Remociones y producción total en área basal por hectárea para un índice de sitio promedio de 20.4 y densidad del 90% de <i>Pinus rudis</i> Endl. para tres localidades del sur de Nuevo León.....	75

RESUMEN

En el presente estudio se determinaron tablas de producción para *Pinus rudis* Endl., para tres localidades del sur del Estado de Nuevo León mediante uso de datos obtenidos por sitios de temporales de muestreo y mediante índices de sitio. La determinación de la edad base para los índices de sitio fue mediante la estimación del turno absoluto por medio del ajuste del modelo no lineal con datos de edad-diámetro. El índice de sitio se determinó por medio del método de la curva guía usando curvas anamórficas equidistantes a cada 3 metros, y ajustando modelos no lineales con datos de edad-altura. La estimación del número de árboles por hectárea se realizó por medio del uso de una guía de densidad para *Pinus rudis* Endl. elaborada por Alonso (1996), la estimación del diámetro normal se realizó por medio del ajuste de modelos no lineales usando los pares de datos de altura-diámetro. Para el cálculo de el volumen se utilizó la tabla de volumen para *Pinus rudis* Endl., elaborada por SARH (1985). Del conjunto de modelos no lineales utilizados para las estimaciones, los mejores fueron: el modelo de Weibull para la determinación de los índices de sitio; el modelo de Weibull para la estimación de la edad base; mientras que se utilizaron modelos lineales para la estimación del diámetro en función de la altura. El ajuste de estos modelos se realizó con ayuda de los programas SAS (Statistical Analysis System 9.0) y STATISTICA 7. La edad base utilizada para la familia de curvas anamórficas fue de 70 años, por lo que se generaron 7 curvas de índice de sitio con los valores de 29.4, 26.4, 23.4, 20.4, 17.4 14.4 y 11.4 metros.

Se realizó una simulación de aplicación de preaclareos para la elaboración de la tabla de producción para el índice de sitio promedio (20.4) y densidad del 90%. Las tablas de producción se realizaron para el total de los índices de sitio obtenidos, para ello se categorizó en base a la edad a cada 5 años hasta una edad final de 135 años.

Palabras clave: *Pinus rudis*, curvas anamórficas, índice de sitio, modelos, tablas de producción.

ABSTRACT

In the present study were determined tables production *Pinus rudis* Endl. in for three southern towns of the state of Nuevo León through database use obtained by temporal sampling and using site index. Determining the base age for the site index was by estimating the absolute shift for the species by adjusting nonlinear models with age-diameter data. Site index was determined by guide curve method using anamorphic curves equidistant to each 3 meters and adjusting nonlinear models with age-level data. The estimated number of trees per hectare was performed by use of a guide density produced by Alonso (1996). The estimating the normal diameter was performed by adjustment of nonlinear models using data pairs of height to diameter. To calculate the volume was used the volume table for *Pinus rudis* Endl. produced by SARH (1985). The set of nonlinear models used for estimates the best were: the Weibull model to determination of site index, the Weibull model to estimate the age base. While linear models to estimate the diameter was used depending on the height. Adjustment of these models was performed using the programs SAS (Statistical Analysis System 9.0) and STATISTICA 7. Age base used for family of curves anamorphic was 70 years, obtaining 7 curves of site index with values 29.4, 26.4, 23.4, 20.4, 17.4 14.4 and 11.4 meters. A simulation application silvicola intervention performed for the development table production for the average site index (20.4) and density of 90% was. The production tables was realized for total of site index obtained, for these it was categorize based on the age every five years to a final age of 135 years.

Key words: *Pinus rudis*, anamorphic curves, site index, models, production table.

Correo electronic: Erick paul vargas vargas vavep.v@gmail.com

I. INTRODUCCIÓN

La finalidad de la silvicultura no es solo la producción de las masas arbóreas individuales, sino que comprende también el desarrollo simultáneo de un bosque permanente que pueda satisfacer los objetivos de la administración (Hawley y Smith, 1972). Mientras tanto que la planificación del manejo forestal mediante la cuantificación y medición de los ecosistemas permite obtener con cierta precisión la información confiable del desarrollo de estos (FAO, 2008).

El estudio de crecimiento e incremento de árboles y bosques es de interés de los silvicultores con el propósito de determinar su respuesta y su proyección a un determinado tiempo para un mejor manejo de los bosques (Prodan *et al.*, 1997).

La predicción del crecimiento en bosques utilizando modelos matemáticos a nivel rodal para conocer su comportamiento a través del tiempo, ha sido ampliamente aplicable tanto en masas regulares como en bosques irregulares. En bosques regulares aplicados con mayor éxito, ya que en estos casos se consideran estadísticas promedio del rodal; en cambio en rodales irregulares y con mezcla de especies, la predicción del crecimiento resulta más compleja, ya que existe gran heterogeneidad en edades, estructuras y distribuciones espaciales (Vargas, 1999).

Para llevar a cabo un manejo forestal eficiente y con miras a la sustentabilidad es necesario que los administradores forestales cuenten con herramientas cuantitativas confiables, que respalden sus decisiones silvícolas. En respuesta a ello, en años recientes la investigación forestal en México ha desarrollado modelos de crecimiento para describir la dinámica de los bosques bajo manejo, especialmente de aquellos compuestos por rodales coetáneos sometidos a producción maderera (Santiago, 2009). Esto por medio de indicadores del rodal como lo son la edad, el índice de sitio y la densidad del rodal, ya que por medio de estos es posible realizar estimaciones de crecimiento y productividad maderable en área basal o volumen por clase de edad o unidad de superficie (Monroy, 1997).

Las tablas de producción representan el desarrollo promedio de una especie en una región determinada y posibilitan una estimación rápida y de bajo costo del volumen y el incremento de los rodales, por lo que constituyen un auxiliar importante en las actividades del manejo forestal. Para la elaboración de las tablas de producción en países con una tradición forestal joven, en los que se cuenta generalmente con superficies de muestreo forestal permanente establecidas en épocas recientes es necesario emplear un método basado en parcelas temporales de muestreo (Aguirre, 1991).

Por ello en el presente trabajo se pretende proporcionar una herramienta para la evaluación de la productividad maderable en los municipios de Galeana, Aramberri y General Zaragoza, Nuevo León, mediante la elaboración de una tabla de producción para los rodales de *Pinus rudis* Endl. Esta misma elaborada mediante el uso de modelos de regresión y los diferentes índices de sitio que se presentaron en el lugar objeto de estudio.

1.1 Objetivo general

- Generar una tabla de producción por medio de sitios temporales de muestro para los diferentes índices de sitio, que permita estimar la producción en las diferentes etapas de desarrollo de los rodales en las diferentes localidades del sur de Nuevo León en las que se desarrolla *Pinus rudis* Endl.

1.1 Objetivos específicos

- Realizar muestreo mediante sitios temporales, para la obtención de datos que permitan realizar estimación de turno, volumen y área basal e índices de sitio.
- Determinar el turno absoluto en base al diámetro normal para la especie.
- Determinar las calidades de sitio para las tres poblaciones de *Pinus rudis* en el sur de Nuevo León.

- Determinar las densidades por clase de edad e índice de sitio.
- Estimar la producción para las diferentes clases de edad e índices de sitio
- Generar una tabla de producción que sirva como herramienta a la hora de aplicar el manejo silvícola en los bosques donde se localice *Pinus rudis* Endl. en el sur del Estado de Nuevo León.
- Simular la aplicación de diferentes intervenciones silvícolas para estimar la producción.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Descripción de la especie

Árbol monoico de 15 a 30 metros de altura, de corteza agrietada, de color pardo rojizo. Las hojas varían en número y tamaño, por lo general se observan 3 hojas pero pueden presentarse 4 o 5; en promedio miden 8 cm de largo, de color verde claro, medianamente gruesas. Los conos son de color rojizo muy oscuro casi negro, con un largo promedio de 9 a 10 cm (Martínez, 1948).

En la edad madura, la base del árbol tiende a ser muy ancha para continuar con una forma cilíndrica; la sección apical del árbol presenta una disminución gradual en diámetro, siendo este proceso acelerado en metros. Por lo general, la copa en esta edad es reducida y se presenta en una quinta parte del árbol (Martínez, 1948).

2.1.1 Distribución y hábitat

En la Sierra Nevada se encuentra la mayor distribución de este pino, ampliándose a la Sierra Madre del Sur, al norte de la Sierra Madre Oriental y centro de la Sierra Madre Occidental en los Estados de Nuevo León, Coahuila, Tamaulipas, Hidalgo, Puebla, Veracruz, Tlaxcala, Distrito Federal, México, Colima, Michoacán, Nayarit, Jalisco, Guerrero, Oaxaca y Chiapas (Perry, 1991) con coordenadas extremas de 16° 15'N, 96° 13'O y 25° 30'N, 105° 25'O (Eguiluz, 1982).

Se le encuentra en una altitud media 2,900; óptima de 2,500 a 3,000 y máxima de 4000 msnm (Perry, 1991) y a una precipitación media anual de 1000 mm, sin embargo, Eguiluz (1982) lo ubica a una altitud mínima de 2500 y máxima de 3400 a una precipitación anual mínima de 600 mm y máxima de 1450 mm con una temperatura anual mínima extrema de -10 °C, temperatura media de 12 °C y temperatura máxima extrema de 42 °C. Crece en sitios de bajas a muy bajas temperaturas con pendientes moderadas. Forma rodales puros pero a veces

asociados a especies como *Pinus montezumae*, *Pinus hartwegii*, *Pinus pseudostrobus* y *Abies religiosa* (Martínez, 1948).

2.1.2 Clima y suelos

El clima donde se establece es templado frío, se encuentra bien representado en pendientes inclinadas. Es una de las especies que alcanzan las últimas asociaciones arbóreas, cerca de los límites máximos altitudinales (Perry, 1991); Eguiluz (1982) por su parte ubicó a la especie en un tipo de clima templado- templado cálido.

Pinus rudis es la especie que menores incrementos presenta, debido al clima que ofrece su distribución geográfica, además de que crece en suelos pobres y rocosos, no obstante es una especie muy utilizada en nuestro país ya que presenta madera de relativa buen calidad. Aunque desde el punto de vista económico no tiene la importancia industrial de otras especies de pino, si es usada para celulosa, papel y pasta mecánica y de forma secundaria en las industrias del aserrío, chapa, triplay y tableros de partículas (Martínez, 1948).

2.2 Productividad de los sitios

Los procesos funcionales de los bosques como la fotosíntesis, la respiración, el ciclo del carbono, así como de los nutrientes, y la relación de los efectos de cada uno de estos procesos dentro del bosque intervienen de manera importante en la determinación de la productividad forestal (Spurr y Barnes, 1982).

La capacidad de una especie arbórea para prosperar y competir con éxito sobre una localidad determinada es influida tanto por los factores internos (constitución fisiológica del árbol) como por los externos (ambientales). La integración de estas propiedades combinadas determina la productividad forestal. (Hocker, 1984; Pritchett, 1986)

Es importante conocer los factores así como los efectos individuales y combinados que tienen estos sobre el crecimiento arbóreo. A menudo es necesario determinar si uno o más de ellos está limitando el crecimiento o si es posible mejorar el medio ambiente a través de alguna practica silvícola o mejorar

el medio ambiente para una de las especies importantes de árboles forestales (Hocker, 1984).

La productividad de los terrenos forestales se define en gran parte por la productividad del sitio, que se estima mediante la máxima cosecha de madera que el bosque produzca en un tiempo determinado. (Daniel *et al.*, 1982; Clutter *et al.*, 1983; Aguirre, 1991; Madrigal *et al.*, 2004).

La disponibilidad de los nutrientes de un sitio es de particular importancia en la determinación de su productividad potencial (Daniel *et al.*, 1982; Daubenmire, 1990) en general, cuanto mayor es la cantidad de nutrientes, mayor es la flexibilidad de que se dispone para la elección de tratamientos silvícolas alternativos (Daniel *et al.*, 1982).

La calidad del terreno es una cuestión esencial en el manejo de los rodales encaminada a la producción de varias combinaciones de productos forestales: madera, agua, forrajes, recreación y caza (Daniel *et al.*, 1982)

Una observación muy interesante es que también rodales densos de la misma especie, a la misma edad y a la misma altura del rodal pueden tener una producción total diferente. Esta relación entre producción total y la altura del rodal se denomina “nivel de producción”. Muy ilustrativo es el llamado “nivel de producción especial”, en el cual representa la producción la producción total de los rodales para una altura determinada y a una edad dada (Aguirre y Kramer, 1990).

2.2.1 Factores que afectan la productividad

Una planta es afectada de inmediato por la cantidad de calor, luz, humedad y nutrimentos disponibles para ella, por el grado de actividad de los parásitos y de los hongos micorrízicos. No obstante, esta tolerancia no es ilimitada. Cuando la intensidad de cualquiera de estos factores comienza a exceder la capacidad de la planta para hacerle frente, el vigor disminuye, pero debido a la multiplicidad de factores que intervienen, es común que la causa de la alteración pase inadvertida (Daubenmire, 1990).

Existen varios factores biológicos que contribuyen a la productividad general del suelo o localidad. Aunque estas variables son de carácter más

transitorio que los factores abióticos, si no se reconoce influencia sobre el crecimiento del árbol pueden producirse errores graves en la medición de la productividad del campo. Algunos componentes bióticos de especial importancia en este aspecto son la densidad de la vegetación, la variabilidad genética de las comunidades, la vegetación competitiva, así como los problemas por enfermedades o insectos (Torres y Magaña, 2001).

Los factores abióticos que afectan el crecimiento de los árboles pueden agruparse de manera general en variables climáticas, fisiográficas y edáficas. Los primeros dos factores no se prestan a ser manipulados por el ser humano, pero los factores edáficos a menudo pueden alterarse para que haya un mejor crecimiento de los árboles. La influencia de los factores abióticos sobre el crecimiento de los árboles se mide de manera exacta por medio del índice de sitio o bien por métodos indirectos, en tanto que los factores bióticos a menudo son difíciles de identificar y de cuantificar (Torres y Magaña, 2001).

La gran influencia del clima sobre la productividad de las especies se explica mediante el índice de clima de Paterson. Los datos de las diversas regiones climáticas no bastan para determinar el incremento de un bosque en un área dada; también en el mismo sitio la producción de un bosque es diferente dependiendo de la especie. La misma especie puede diferenciarse extremadamente en su crecimiento en una región dependiendo del sitio en que se desarrolle (Aguirre y Kramer, 1990).

Algunas consideraciones silvícolas como la elección de las especies, la determinación de la productividad del sitio, la anticipación de la supervivencia y desarrollo de las plántulas y la determinación del crecimiento en los rodales y los niveles por clases de árboles, están influidos en gran parte por factores edáficos (Daniel *et al.*, 1982).

Los aclareos son el método principal que dispone el forestal para regular el microclima del rodal y la competencia por el agua y los alimentos del suelo entre los individuos. El forestal puede, por medio de cortas adecuadas regular la distribución, la productividad, e incluso las especies de árboles que proporcionan las semillas necesarias para la regeneración natural (Hawley y Smith, 1972).

La relación entre la producción total y la altura del rodal, el llamado nivel de producción puede variar considerablemente dependiendo del clima y de las características del sitio (Aguirre y Kramer, 1990).

2.2.2 Formas de evaluación de la productividad

Los cálculos de estimación de la productividad se han hecho casi siempre con base en los simples recursos naturales renovables del bosque, como la madera, el forraje, el agua, y la fauna. La productividad de los terrenos forestales se define, en gran parte, por la calidad del sitio. La calidad de sitio es la suma de muchos factores ambientales, la profundidad del suelo, su textura, las características de sus perfiles, su composición mineral, lo pronunciado de las pendientes, la exposición, el microclima, las especies que viven sobre él, y otros más (Daniel *et al.*, 1982).

Teóricamente la productividad de un terreno forestal se debe estimar usando como criterio la máxima cosecha de madera que el bosque produce en un tiempo determinado (Daniel *et al.*, 1982; Clutter *et al.*, 1983; Aguirre, 1991; Madrigal *et al.*, 2004) de esta forma, una estimación de la producción potencial de madera de un sitio para una especie en particular o para un tipo de bosque, se puede considerar una medida de la productividad del terreno forestal. A esta medida se le ha dado el nombre generalizado de calidad de estación (Torres y Magaña, 2001).

Clutter *et al.* (1983) señalan que existen dos métodos para evaluar la calidad de sitio. Existen los llamados métodos directos, mismos que toman como medida de evaluación la variable más representativa del objetivo de producción. Por otro lado, existen los llamados métodos indirectos, mismos que relacionan características del rodal con la variable más representativa del objetivo de producción. De esta forma, si el objetivo es la producción maderable, estos autores señalan varios procedimientos dentro de la categoría de métodos directos, tales como:

- Estimación del rendimiento a través de datos históricos
- Estimación de volumen del rodal
- Estimación basada en estimaciones de altura

En cuanto a métodos indirectos estos autores señalan los siguientes métodos como los más representativos:

- Evaluación a partir de las características de especies en el sotobosque.
- Estimación a partir de especies indicadoras
- Estimación a partir de factores abióticos característicos del rodal

Tradicionalmente se han usado dos expresiones para determinar la productividad de un sitio, que son: índice de sitio y otras variables del rodal, principalmente abióticas. De estas dos expresiones la que mayormente se ha usado por su simplicidad y precisión es el índice de sitio, aunque los otros procedimientos suelen acompañar al índice de sitio a fin de lograr las estimaciones más precisas (Torres y Magaña, 2001).

2.2.3 Calidad de sitio

Dentro de un cierto microclima, la calidad de estación refleja la productividad de un sitio forestal, entendiendo este como la integración de todos los factores bióticos y abióticos que influyen en el crecimiento del arbolado en ese sitio en particular (Daniel *et al.*, 1982; Aguirre y Kramer, 1990; Torres y Magaña, 2001).

No obstante Zepeda y Rivero (1984) definieron la calidad de sitio como el carácter o cualidades distintivas que indican, en forma un tanto relativa, el grado de productividad de un lugar bajo las condiciones imperantes en el momento en que se efectúa la estimación de esta; suponiendo que tal productividad es la resultante de la suma de todos los efectos de los factores de sitio que interactúan en ese lugar, que está determinada por el producto entre la capacidad y eficiencia de producción del sitio y que se entiende, en la generalidad de los casos, como la aptitud o susceptibilidad de ese sitio para sostener el crecimiento de cierta cantidad y tipo de biomasa.

La calidad de sitio está determinada por la productividad y, por lo regular, los mismos índices que permiten estimar la productividad, sirven de base para calificar la calidad de sitio (Zepeda y Rivero, 1984)

La calidad de sitio se puede clasificar cualitativamente en tipos de sitio, a través de su clima, suelo y vegetación o cuantitativamente en clases de sitio, a través de su potencial para producir madera. De cualquier forma, la evaluación de la productividad de un sitio significa evaluar las características de este en relación con las variables más importantes del rodal, especialmente aquellas que reflejan la cosecha más rentable. Tales variables se usan para expresar matemáticamente, en forma tabular, o en gráficas, la calidad de sitio del rodal (Torres y Magaña, 2001).

La calidad de sitio ha sido evaluada con frecuencia por medio de procedimientos indirectos como el índice de sitio (IS), el cual procede de la adaptación de datos edad-altura de curvas de crecimiento de una tabla de rendimiento normal (Aguirre y Kramer, 1990; Madrigal *et al.*, 2004).

La evaluación de la calidad de sitio indica “la estimación y caracterización de un rodal existente o por establecer”. La calificación de la calidad de sitio se puede efectuar directamente tomando características del sitio, o en forma indirecta considerando diversos parámetros del rodal (Aguirre, 1991).

A veces es posible juzgar la calidad del sitio por el crecimiento de los árboles sobre este. Frecuentemente, las diferencias de densidad de la localidad o la ausencia de especies deseables, vuelve más difícil medir la calidad de la vegetación a partir de las plantas que crecen en el lugar (Hocker, 1984). Sin embargo, es difícil encontrar rodales puros coetáneos, de densidad completa y de diferentes edades, por lo que en la actualidad la información se obtiene mediante análisis troncales de individuos presentes en terrenos, sitios o localidades, con características distintas (Madrigal *et al.*, 2004). Por estas razones, a veces se hace necesario tener la capacidad de clasificar el potencial productivo de las diferentes localizaciones utilizando características permanentes (Hocker, 1984).

Se entiende como “método para estimar la calidad de sitio”, a aquel proceso mediante el cual es posible estimar, en forma un tanto aproximada, el grado de productividad de un sitio (Rivero y Zepeda, 1990).

Los métodos ideados para estimar la calidad de sitio y/o la productividad se clasifican en:

- Métodos basados en la vegetación del sitio

Estimación a partir de características de los árboles, principalmente dasométricas consideradas como expresión adecuada de la calidad de sitio (tales características han sido, fundamentalmente, altura dominante y volúmenes totales por unidad de área). Dentro de esta categoría se encuentran los métodos que utilizan la estimación de la calidad de sitio con base en registros históricos de las existencias volumétricas, estimación de la calidad de sitio con base en incrementos en altura y la estimación de la calidad de sitio con base en relaciones altura-edad o altura-diámetro. Este último método engloba el método del índice de sitio y el método del índice del terreno (Daniel *et al*, 1982; Rivero y Zepeda, 1990; Prodan *et al.*, 1997).

Estimación a partir de la vegetación indicadora, el cual engloba el método por indicadores botánicos mismo que se divide principalmente en dos procedimientos: 1. por asociaciones vegetales y, 2. tipos fitotecnológicos (Klepac, 1976; Daniel *et al.*, 1982)

- Métodos basados en factores del ambiente físico del sitio.

Dentro de esta categoría se encuentran ubicados los métodos de estimación a partir del clima y características de la vegetación (utilizando principalmente factores climáticos relacionados con características de la vegetación) y la estimación a partir de propiedades de los suelos y características topográficas (utilizando más frecuentemente para la estimación de la calidad de sitio la exposición, la forma del relieve, y la pendiente de los terrenos). (Daniel *et al.*, 1982; Rivero y Zepeda, 1990).

- Métodos basados en factores múltiples (métodos combinados)

En el enfoque multifactorial es posible integrar factores de tipo geográfico, climatológico, geológico, edafológico, topográfico, etc., para estimar la calidad del sitio de las áreas forestales (Rivero y Zepeda, 1990).

Este tipo de métodos permite clasificar los sitios forestales conforme a combinaciones particulares de factores físicos y bióticos. Ejemplos de este tipo de

procedimiento son el sistema Baden-Württemberg de Alemania y el método de Hills desarrollado en Canadá (Spurr y Barnes, 1982).

El crecimiento en altura está controlado en gran parte por los factores prácticamente inalterables del sitio, excepto cuando la densidad de la masa es muy baja o extremadamente alta. Es por esta razón que la altura media de los árboles dominantes y codominantes a una edad determinada es el índice estándar de la calidad de sitio (Hawley y Smith, 1972).

Si el crecimiento en altura de la masa no puede ser influido, no se producirán cambios importantes en la producción del volumen cubico total, a menos que la densidad de la masa estuviera de tal modo alterada que ocasionara un cambio significativo en el crecimiento del área basal (Hawley y Smith, 1972).

Obsérvese que la calidad de sitio consiste solo en comparar las alturas dominantes a la edad base o edad índice, ya sea que el rodal tenga una edad inferior a esta o una edad superior. Mientras la edad inicial se encuentre más alejada de la edad base, será más difícil que el modelo brinde proyecciones satisfactorias. De aquí que resulta de la mayor relevancia cuidar los siguientes aspectos en el desarrollo de funciones de índice de sitio: 1. forma funcional; 2. información usada en el ajuste; 3. método de construcción, y 4. validación (Torres y Magaña, 2001).

2.2.4 Índice de sitio

Zepeda y Rivero (1984) definieron el método del índice de sitio el proceso por el cual es posible estimar la calidad del sitio de masas coetáneas, preferentemente puras, con base en relaciones altura-edad.

El índice de sitio está definido por la altura media o dominante que alcanza un rodal a una edad determinada (edad base) (Spurr, 1952; Clutter *et al.*, 1983; Zepeda y Rivero, 1984; Aguirre, 1991), por lo general 50 o 100 años. El empleo del índice de sitio posibilita la comparación de diferentes tablas de producción para una especie, por lo que se ha empleado en la mayoría de las tablas de esta naturaleza construidas en las últimas décadas (Aguirre, 1991).

Para caracterizar las condiciones de crecimiento en rodales coetáneos, los parámetros más adecuados son el desarrollo en altura durante la vida del rodal y

el incremento medio anual por hectárea. La altura del rodal permite inferir sobre la calidad de sitio; el patrón de desarrollo en altura, sobre las propiedades de una especie genéticamente determinadas. El conocimiento del crecimiento en altura de cada especie arbórea, es también muy importante para el adecuado tratamiento silvícola de rodales mixtos (Aguirre y Kramer, 1990).

En años recientes los índices de sitio se han convertido en el método más popular y práctico para la evaluación de la productividad forestal. Este método consiste en evaluar la altura que lograrían los árboles dominantes o codominantes y sanos a una edad predeterminada, frecuentemente referida como una edad base o edad índice. Tal evaluación tiene dos supuestos importantes: la existencia de un modelo que represente fielmente la relación altura-edad; el comportamiento de la relación altura-edad para sitios de diferente productividad sigue la trayectoria definida por la familia de curvas generales bajo el mismo modelo (Torres y Magaña, 2001)

El desarrollo de funciones de índice de sitio puede realizarse con una amplia variedad de estrategias y con datos derivados de varias fuentes. A continuación se presentan tres de las fuentes más usadas para derivar funciones de índice de sitio:

- Medidas de altura dominante y edad obtenidas de parcelas de muestreo temporal
- Medidas de altura dominante y edad obtenidas de parcelas de muestreo permanente
- Reconstrucción de medidas de altura y edad derivadas de análisis troncales

Un rápido análisis de la estrategia de construcción de funciones de índice de sitio muestra que para obtener la función de índice de sitio existen dos procedimientos comúnmente utilizados. La primera estrategia se conoce como el método de la curva guía y puede desarrollarse con cualquiera de las tres fuentes de datos antes mencionadas. La segunda estrategia se denomina método de la diferencia algebraica y forzosamente requiere dos mediciones del arbolado en dos periodos diferentes, ya que todos los modelos en forma funcional muestran dos

edades y dos alturas en diferentes periodos (Clutter *et al.*, 1983; Torres y Magaña, 2001); así como el método de la predicción de parámetros (Clutter *et al.*, 1983)

La forma de la familia de curvas de índice de sitio se ha dividido en dos clases: anamórficas y polimórfica (Clutter *et al.*, 1983) las curvas anamórficas se caracterizan por que la altura guarda la misma proporción a diferentes edades, haciendo que las curvas aparenten tener la misma forma. Por el contrario, las curvas polimórficas pueden ser de dos tipos: con intersecciones y sin intersecciones. En ambos casos la proporción que guarda la altura es diferente entre curvas, haciendo que las curvas aparenten diferente forma en cualquiera de sus dos variantes (Zepeda y Rivero, 1984; Torres y Magaña, 2001), las cuales son:

Método de la curva guía: este método usa información proveniente de sitios de muestreo temporal y se usa tradicionalmente para generar funciones de índice de sitio anamórficas, aunque igualmente se pueden generar funciones polimórficas. La estrategia consiste en seleccionar un modelo de ajuste dados los datos de altura-edad. Una vez ajustado el modelo se continúa con la generación de la función de índice de sitio (IS). Generar una curva de tipo anamórfica, implica una forma constante, por lo que los parámetros de forma no deben cambiar para toda la familia de curvas (Daniel *et al.*, 1982; Clutter *et al.*, 1983; Zepeda y Rivero, 1984; Torres y Magaña, 2001).

Método de la diferencia algebraica: este procedimiento utiliza información proveniente de sitios de muestreo permanente o bien datos de altura-edad derivados de análisis troncales (Torres y Magaña, 2001).

Estimación de la calidad del sitio a través de otras variables del rodal:

Este procedimiento consiste en relacionar las características de la variable más aproximada al objetivo de producción (generalmente volumen maderable) y algunas características abióticas del lugar; usualmente características del suelo, topografía, fisiografía y clima entre otros. Comúnmente esta estrategia se ha utilizado no para comparar la productividad entre rodales, sino para estimar la productividad de terrenos actualmente con otro tipo de vegetación o desprovistos

de ella, y que están siendo considerados dentro de programas de reforestación o aforestación (Daniel *et al.*, 1982; Torres y Magaña, 2001)

La mayor parte de los trabajos de este tipo implican encontrar asociaciones entre las dimensiones de los árboles y las características del suelo. Otras características abióticas consideradas son la elevación, pendiente y exposición entre otras. Pritchett (1986) señala que existen variables del suelo que tienen una relación muy estrecha con el crecimiento del arbolado.

2.3 Competencia

La interacción entre especies de árboles conduce a que a lo largo del tiempo unos individuos tengan ventajas y dominancia sobre otros individuos. Tal interacción de dominancia o presión es comúnmente denominada competencia. La competencia entre especies arbóreas implica básicamente que los árboles pueden impedir, modificar o parar el crecimiento de otros individuos de la misma o de diferente especie. La competencia se presenta por un sobreaglutinamiento de individuos en un área en específico, de aquí que la evaluación de la presencia de individuos, ya sea en términos absolutos o en términos relativos es de vital importancia para expresar el nivel de competencia de una población o estrato de rodal en particular (Torres y Magaña, 2001).

Hocker (1984) así como Equihua y Benítez (1990) señalan que la competencia puede ser interespecífica, cuando se presenta entre organismos de distintas especies o intraespecífica cuando se presenta entre los organismos de una misma especie.

Para que una especie se pueda considerar un competidor exitoso, debe contar con una buena fuente de semillas, un ambiente apropiado para el desarrollo de estas, buenas condiciones de crecimiento y una baja susceptibilidad a las enfermedades o el daño producido por insectos o animales que pudieran obstaculizar la supervivencia del individuo (Daniel *et al.*, 1982).

La competencia entre las plantas se presenta cuando dos de ellas tienen demanda sobre un factor simple, en exceso y que superan la capacidad de dicho factor para satisfacerlas. Si dos plantas de la misma especie y edad ocupan

posiciones adyacentes en una localidad, compiten por el agua, la luz y los minerales del suelo (Hocker, 1984).

Los árboles más vigorosos o mejor adaptados al medio ambiente son los más capaces de sobrevivir a la intensa competencia por la luz, la humedad y los alimentos. Sin embargo, el proceso no es simplemente una selección estable y progresiva de los más adaptados ya que puede ser interrumpida o temporalmente invertido por accidentes naturales que eliminan árboles puramente al azar (Hawley y Smith, 1972).

El crecimiento en altura es el factor más crítico en la competencia, aunque los árboles que aumentan más deprisa son casi invariablemente mayores en todas las dimensiones, especialmente en el tamaño de copa. (Hawley y Smith, 1972).

El hecho de que un árbol tenga vecinos a su alrededor no significa una competencia en forma estricta, la competencia se inicia a partir del punto en el cual la oferta del suelo y del vuelo es menor que la demanda de los árboles (Cano, 1988).

Se puede aumentar el valor y la producción del rodal eliminando árboles que de otro modo se perderían por la competencia, de hecho, una proporción elevada de la producción total se perderá por la muerte y descomposición de gran número de árboles que no sobreviven en la lucha por la existencia (Hawley y Smith, 1972; Hocker, 1984).

La competencia es un poco menos compleja cuando se presentan localidades puras, de masa regular; el ecosistema es menos complejo ya que conviven menos especies. Sin embargo, la diversidad genética entre los árboles individuales y la variación en la calidad de localización producen diferencias de crecimiento que dificultan la formulación de reglas generales para un procedimiento (Hocker, 1984).

Las relaciones entre el incremento y el espacio de crecimiento para un solo árbol pueden considerarse de modo más sencillo en términos de los que hay entre la superficie de copas y el crecimiento del área basal. Aunque pueda considerarse al incremento del área basal constante para la masa como un todo, la cantidad

que corresponde a cada árbol puede ser aumentada sustancialmente reduciendo el número de árboles de la masa (Hawley y Smith, 1972).

2.4 Turno

El turno es definido como el periodo de tiempo que transcurre desde la formación de un bosque o rodal por siembra, plantación o cualquier otro medio, hasta su aprovechamiento final. Para poder decidir cuál es el turno adecuado, se toman en cuenta factores de carácter biológico, estacional y socio-económico que afectan la longitud del mismo. Para la determinación del turno actualmente se ha considerado por un lado captar al máximo el crecimiento del arbolado, (incremento medio anual máximo) el tipo de productos a obtener (alcanzar un diámetro determinado) y la edad para producir semilla (aplicación de árboles padres); en estos casos se puede afirmar que se está utilizando una combinación de turnos, específicamente el turno absoluto, el turno técnico y el turno silvícola (SARH, 1985).

Para este trabajo se utilizará el turno como la edad base (EB) en el cálculo del índice de sitio (IS) (Clutter *et al.*, 1983) misma que se puede definir como el número de años que se eligen para determinar un índice de sitio. También conocida como edad de referencia o edad índice (Zepeda y Rivero, 1984).

Para el cálculo de la misma EB según Zepeda y Rivero (1984) existen varias alternativas para la localización de esta.

- En forma gráfica

En este caso el punto correspondiente a la edad base se puede localizar sobre la curva de IMA en altura, a la edad en la que este alcanza su valor máximo, o sobre la curva guía en el punto en que una recta que parte del origen del eje coordenado es tangente a la curva guía.

- En forma analítica

Para este caso se emplea cuando se halla localizado la edad en la que la tangente de un triángulo rectángulo “creciente”, determinada por la razón entre la ordenada y la abscisa del eje coordenado, es máxima.

2.5 Densidad

La densidad es el grado de ocupación real del área de un sitio o lugar por árboles, en un momento dado (Cano, 1988), así como los troncos o las raíces del mismo árbol (Hocker, 1984) y que puede estar bajo un grado de competencia entre los árboles por los elementos del medio (Prodan *et al.*, 1997).

La densidad se utiliza como variable de decisión o control en intervenciones silviculturales o, en modelos simuladores de desarrollo y crecimiento, también como variable predictora. Una medida de densidad debe ser básicamente clara, consistente, objetiva y fácil de aplicar; en lo posible, conviene que tenga relación con el volumen, y no debe estar relacionada con la edad ni con el sitio (Prodan *et al.*, 1997).

El forestal, al mantener adecuadamente el monte natural, y establecer nuevos bosques sobre zonas abiertas, hace aumentar el ritmo de producción, el bosque controlado es más productivo que los abandonados o maltratados a causa de las ventajas adquiridas por la realización del control de la densidad de la masa (Hawley y Smith, 1972).

Los montes explotados de forma inadecuada suelen presentar una densidad excesiva o defectiva. Ambos extremos son perjudiciales y tienen, como efecto final, una reducción en el valor producido. La densidad de la masa es también el factor primario que influye en las propiedades técnicas de la madera. Aunque cada individuo crecerá más rápido si la densidad es menor, la madera de mejor calidad se produce generalmente en los lugares de densidad intermedia. El control de la densidad es importante en silvicultura, ya que puede usarse para regular y mejorar tanto la calidad como la cantidad de madera producida (Hawley y Smith, 1972).

2.5.1 La productividad en función de la densidad

El crecimiento y el rendimiento dependen tanto de la productividad potencial, dada por la calidad del sitio como el grado que se aproveche dicha potencialidad a través de la cantidad y distribución del stock. La distribución espacial es importante en formaciones naturales, especialmente para los procesos

regenerativos del bosque, pero no lo es en bosques sometidos bajo manejo intensivo (Prodan *et al.*, 1997).

La densidad del rodal es el segundo factor en importancia, después de la calidad de sitio, para la determinación de la productividad de un sitio forestal; esto es muy importante, la densidad del rodal es el principal factor que el silvicultor puede manejar durante su desarrollo. A través de la ordenación o el manejo de la densidad, el técnico es capaz de influir sobre el establecimiento de las especies durante el periodo de regeneración, modificar la calidad de los troncos, la tasa de crecimiento en diámetro e incluso la producción en volumen durante ese periodo de establecimiento (Daniel *et al.*, 1982).

La densidad se expresa necesariamente en términos cuantitativos y representa una medida del rodal independiente de los objetivos del manejo y consistente a través de los distintos estados de desarrollo del rodal. Otras características de una buena medición de la densidad sería su independencia de la edad y las características del rodal y de la calidad de sitio (Spurr, 1952).

Si la producción de volumen cubico ha de ser mantenida al nivel más alto posible, el área basal deberá considerarse dentro de los límites en que el crecimiento óptimo es independiente de la densidad de la masa (Hawley y Smith, 1972).

Las cortas, además de condicionar la ordenación de los árboles por edades, afectan a la composición específica de la masa, al método con que son mezcladas, a la proporción de árboles que se producen por siembra y germinación, y a la calidad de los individuos, y sirven para caracterizar la posterior estructura del rodal y del monte (Hawley y Smith, 1972).

Es probable que el crecimiento del área basal se reduzca si una masa se hace excesivamente densa, aunque las razones fisiológicas de esta reducción son casi incomprendidas. Sin embargo, dentro de los amplios límites de la densidad de espesura que se encuentra de ordinario en masas bien administradas, el crecimiento del área basal tiende a permanecer óptimo con independencia de la densidad de la masa (Hawley y Smith, 1972).

Aunque el forestal no puede aumentar la producción total de una masa, altera la estructura de la masa de tal manera que su producción se distribuye entre un número óptimo de árboles, escogidos sobre la base de sus potencialidades para aumentar el valor (Hawley y Smith, 1972).

2.5.2 Volumen en función de la densidad

A medida que el número de árboles por hectárea aumenta, el área basal aumentará con cada árbol, sumando al total una cantidad igual de área basal hasta el momento en que los árboles empiezan a competir entre sí. Una vez que se inicia la competencia entre los individuos y se intensifica al aumentar el número de estos, la suma de las áreas basales será mayor, pero el área basal individual disminuirá, finalmente, cuando el número de árboles sea excesivo, la suma de las áreas basales disminuirá, lo que también ocurre al área basal promedio individual. Las razones a que obedece la reducción en el área basal total con el aumento del número de individuos pueden incluir la posible reducción de la producción fotosintética, la mayor proporción de la respiración respecto a la fotosíntesis y, lo que tal vez es la causa principal, la limitación de la cantidad de agua y nutrientes absorbidos por cada individuo, debido a la falta de desarrollo radicular (Daniel *et al.*, 1982).

La producción total de volumen cúbico por una masa de composición determinada en un sitio dado es, para todos los fines prácticos, constante y óptima para un amplio campo de densidad de espesura. Puede ser disminuida, pero no aumentada, alterando la cantidad de pies de espesura hasta niveles que queden fuera de dicho campo. Hay que considerar que esta generalización no debe ser considerada como válida a menos que la producción total de madera en los fustes de todos los árboles de una masa se considere como crecimiento. La producción total del volumen cubico incluye no solo la madera de las cimas de los tallos sino también la madera producida en árboles que mueren ahogados (Hawley y Smith, 1972).

2.5.3 Formas para evaluar la densidad

Cuando existen una serie de resultados optativos que dependen de la manipulación de la densidad, es esencial, desde el punto de vista de la toma de decisiones bien fundamentadas, ser capaz de expresar con precisión la densidad de un rodal. En vista que la evaluación precisa de la densidad es tan importante, los expertos en cuantificación han propuesto varios métodos para conseguirlo, así, pues, los métodos de cuantificación son muchos; sin embargo, todavía no se ha llegado a un acuerdo en lo relativo a cuál es la forma más confiable para describirla (Daniel *et al.*, 1982).

Al elaborar prescripciones silvícolas, es fundamentalmente importante ser capaz de determinar la densidad del rodal. Estas mediciones son en realidad una forma de describir el desarrollo biológico de los rodales. Es importante remarcar el hecho de que la densidad del rodal no es una medida directa del volumen, sino que la determinación de la densidad requiere de información adicional acerca del rodal antes que pueda hacerse una estimación del volumen (Daniel *et al.*, 1982).

Torres y Magaña (2001) consideran la siguiente clasificación para la estimación de la densidad:

Medidas de densidad absoluta

Las medidas de densidad absoluta brindan una estimación de la cantidad de individuos presentes en una población. Sin embargo, estas medidas por sí solas no permiten estimar el grado de aglutinamiento o competencia en la población, dado que son dependientes de variables como la edad, el tamaño de los individuos, la calidad del sitio o la mezcla de especies.

Se mencionan dos medidas de densidad absoluta comúnmente utilizadas:

Número de árboles por hectárea: Esta medida, como su nombre indica, es solo el número promedio de árboles por hectárea. La medida se obtiene con un promedio del número de árboles ubicados en los sitios de muestreo.

Área basal por hectárea: El área basal (AB) se define como el área de la sección transversal de un árbol medida a 1.3 metros de altura (altura del pecho). Evidentemente el AB es una medida de densidad que involucra tanto el número de

individuos como el tamaño de estos, de aquí que sea más frecuentemente usada para comparaciones.

Medidas de densidad relativa

Las medidas de densidad relativa han sido desarrolladas por forestales para describir el grado de aglutinamiento de un rodal relativo a una condición estándar de densidad. Tales medidas se han usado como herramientas para indicar condiciones de competencia dentro de un rodal, necesidades de tratamientos silvícolas o para la predicción del crecimiento y rendimiento de rodales (Torres y Magaña, 2001); entre las cuales destacan:

Método del índice de densidad de Reineke

El índice de densidad de los rodales de Reineke (IDR) puede ser la mejor herramienta, cuando el manejo intensivo del rodal requiere de un método refinado, para regular la densidad y ajustarla a metas previamente establecidas.

Reineke descubrió que cualquier rodal puro, bien poblado y de edad uniforme, que presente un diámetro promedio del rodal tiene aproximadamente el mismo número de árboles por unidad de superficie que cualquier otro rodal puro, bien poblado y de edad uniforme de la misma especie y que tenga el mismo diámetro promedio del rodal. El factor más importante que permite estimar la densidad de un rodal es el diámetro promedio del rodal. Esta característica no es afectada en forma significativa por la edad y la calidad del sitio (Daniel *et al.*, 1982). Con base en esta observación Reineke propuso que para una especie bajo densidad completa existe una relación directa entre el número de individuos (N) y el diámetro cuadrático medio (Dq), la cual expresó a través del modelo:

$$N = a Dq^b$$

Que también se puede expresar en forma lineal como:

$$\ln(N) = a + b \ln(Dq)$$

Donde N representa el máximo número de árboles dado un diámetro cuadrático medio (Dq), mientras que a y b son parámetros del modelo (Torres y Magaña, 2001).

Método de la proporción árbol/área.

El método de la proporción árbol/área distribuye la superficie del suelo ocupada por la copa de un árbol individual dentro de un rodal normal de acuerdo con su diámetro del tronco. Un rodal normal tendría una proporción de 1.0. Se determinó que la proporción de árbol/área y la superficie del suelo de un diámetro particular son independientes del sitio y de la edad del rodal cuando los cálculos se hacen a partir de rodales normales.

La aplicación de este método requiere el uso de un lote fijo y un diámetro de todos los árboles para calcular la proporción (Daniel *et al.*, 1982).

Algunas de las ventajas de este método son que no requiere de la medición de la distancia interarborea, es independiente del sitio y la edad, está referida a una densidad por lo que brinda estimaciones relativas, considera la distribución de tamaños y puede utilizarse en rodales mezclados (Torres y Magaña, 2001).

Método de competencia de las copas

Este método está basado en la gran correlación que existe entre la anchura de copa de un árbol que creció libre y su diámetro. Constituye un medio para cuantificar el grado de presión lateral que puede soportar una especie y permite una apreciable visión acerca de las razones por las que algunas de las especies pueden crecer en rodales más densos que otros. El método de competencia entre las copas se diseñó para aportar información acerca de la máxima cantidad de espacio disponible que puede utilizar un árbol y acerca del mínimo necesario para que el árbol pueda sostener su sitio dentro del rodal. Se encontró que el área de la copa está íntimamente relacionada con el diámetro a la altura del pecho y que esta relación es muy constante en cada especie, independientemente de la edad y el sitio (Daniel *et al.*, 1982).

El área máxima de copa (AMC) se expresa como el porcentaje de la unidad de superficie que puede ocupar un árbol libre con un diámetro de tronco en particular. El factor de competencia de copas (FCC) es la suma de todas las AMC que se encuentran sobre la unidad de superficie. Si todos los árboles que están en esa unidad de superficie tienen un buen desarrollo de copa y si todo el espacio está ocupado, el FCC sería de 100; sin embargo, entre especies, un FCC de 100

sería muy variable en términos del número de árboles por unidad de superficie en un rodal de edad uniforme (Daniel *et al.*, 1982).

Algunos otros autores además de los métodos descritos anteriormente consideran algunos otros no muy utilizados para el caculo de la densidad de los rodales los cuales son: Método de la tabla de rendimiento normal, Método de la tabla de rendimiento de Bruce, Método de porcentaje de altura, Método D más, Método de las D veces, Espacio de crecimiento, Método del incremento en volumen de Stage (Daniel *et al.*, 1982), Método del área del tronco de Lexen (Hawley y Smith, 1972; Daniel *et al.*, 1982) y el índice de densidad relativa (Torres y Magaña, 2001).

2.6 Tablas de producción.

Hocker (1984) definió a las tablas de producción como una tabla que muestra el cambio progresivo en el desarrollo de una localidad a intervalos periódicos que cubren el rango de edad de las especies en localizaciones determinadas. Puede incluir información sobre el diámetro y la altura promedio, el área basal, el número de árboles, el volumen y otros datos esenciales.

Así mismo Aguirre (1991), las define como representaciones tabulares del crecimiento y el aprovechamiento de los rodales de una especie determinada a lo largo de su vida, considerando la calidad del sitio y el tratamiento silvícola aplicado.

Este tipo de tablas posibilitan una estimación de orden dasométrico e inclusive financiero, además de una estimación rápida del volumen y del incremento de rodales para una cierta densidad y son elaboradas con base en datos provenientes de sitios permanentes, sitios temporales de muestreo y en su caso análisis troncales (Rivero y Zepeda, 1990).

Las tablas de producción representan la calidad o clase de sitio por la altura que el rodal tiene a una cierta edad (índice de sitio) (Aguirre y Kramer, 1990).

Los datos en que se basan dichas tablas generalmente incluyen, según el uso que se les piense dar: edad, número de árboles, altura, volumen, incrementos, por medio de los cuales se pueden calcular otros datos como la producción y remoción (Cano, 1988).

Otra característica distintiva es su uso exclusivo en rodales típicamente coetáneos, preferentemente puros (Rivero y Zepeda 1990).

Las tablas de rendimiento de los rodales bajo manejo han tenido una larga historia en varias partes del mundo pero en la actualidad se las puede encontrar en América gracias a la introducción de las técnicas de manejo de los rodales jóvenes (Daniel *et al.*, 1982).

2.6.1 Aplicación de las tablas de producción

El uso más práctico para las tablas de producción en las actividades del manejo forestal, es el poder efectuar la regulación de las cortas, la determinación de lo largo del turno y la rotación así como una evaluación forestal y estimaciones de crecimiento (Husch, 1982).

Todas las tablas de producción tienen la característica de proporcionar, entre otros datos de orden dasométrico e inclusive financiero los rendimientos y/o producción de los rodales de una cierta densidad, diferenciados por clase de edad y sitio (Rivero y Zepeda, 1990).

Para manipular los rodales jóvenes el silvicultor necesita de este tipo de tablas de rendimiento, que lo capacitan para anticipar con razonable precisión los rendimientos de un rodal (Daniel *et al.*, 1982).

Las tablas de producción constituyen un instrumento muy adecuado para obtener informaciones prácticas sobre el crecimiento característico promedio de las especies forestales y posibilitan además una estimación rápida y poco costosa del volumen y el incremento de los rodales (Aguirre, 1991).

2.6.2 Tipos de tablas de producción

Rivero y Zepeda (1990) clasificaron las tablas de producción para rodales coetáneos de diversos tipos, dependiendo de las variables independientes usadas y su forma de construcción.

Tradicionalmente es posible identificar tres tipos básicos de tablas de rendimiento y/o producción. A saber:

- Tablas de producción normal, elaboradas para rodales de densidad máxima o completa.

- Tablas de producción empírica, elaboradas para rodales de densidad promedio.
- Tablas de rendimiento de densidades controladas, elaboradas para rodales que cubren un rango amplio de densidades y susceptibles de proporcionar valores de rendimiento para uno o varios regímenes de corta.
- Tablas de producción bajo manejo silvícola (Klepac, 1976 y Daniel *et al.*, 1982).

No obstante la separación anterior, las tablas han sido clasificadas según su radio de aplicación, según el origen de los datos que sirven de base para su construcción y según el origen del rendimiento (Rivero y Zepeda, 1990).

2.6.3 Metodologías de elaboración

En cuanto a su forma de construcción, aun cuando existen discrepancias sobre el particular, es posible decir que básicamente hay dos posibilidades: métodos gráficos y métodos analíticos dentro de estos últimos la norma la establece prácticamente el uso de técnicas de regresión, desde la lineal simple y múltiple hasta la no lineal (Rivero y Zepeda, 1990).

Para la elaboración de las tablas de producción, se emplean en la mayoría de los países con un alto grado de desarrollo en la actividad forestal datos provenientes de sitios permanentes de muestreo (Aguirre, 1991).

- Tablas de producción normal

La tabla normal se prepara para las condiciones del grado de espesura completo. Las tabas de producción para rodales coetáneos son preparadas bajo mediciones de producción en el campo, de la relación entre una variable dependiente tal como el volumen, área basal, o número de árboles y variables independientes que describen las condiciones del rodal, como la calidad del sitio presentada como índice de sitio (Husch *et al.*, 1982).

- Tablas de producción empírica

Se prepara una tabla de producción empírica para las condiciones reales de la localidad; cuando se realiza un relevamiento de las tierras forestales, los silvicultores, estiman el índice de localización de cada localidad y el grado de

intensidad de la población normal. Si se tiene información sobre el talado, el nivel de intensidad normal y la localización, se pueden comparar estos datos para obtener estimaciones de la producción de madera con los que contienen tablas de campo ya publicadas. Los datos obtenidos de la tabla de producción que incluyen un subgrupo de mediciones de cultivo fijo para diferentes edades, densidades y calidades de la localización pueden encontrarse referidos a un buen número de especies; sin embargo, la mayor parte de las tablas de producción están basadas en estudios de localidades puras de masa regular (Husch *et al.*, 1982; Hocker, 1984).

- Tablas de producción de rodales bajo manejo silvícola

Estas tablas contienen estimaciones del crecimiento relativo al incremento neto anual acumulativo y periódico que pueden esperarse a partir de un tratamiento silvícola, relacionados con los efectos de las áreas basales residuales y los patrones de raleo. Las variables independientes son la edad, el índice de sitio y la densidad de rodal (Klepac, 1976; Daniel *et al.*, 1982).

Aguirre (1991) empleó para la elaboración de una tabla de producción para *Pinus pseudostrobus* las relaciones probabilísticas denominadas por Assmann “relaciones fundamentales I y II mismas que indican:

Relación fundamental I: supone que los rodales tendrán un determinado desarrollo de la altura media en función de la edad y se determina para cada calidad de sitio.

Relación fundamental II: indica que para una altura media dada se alcanza una determinada producción total.

De estas dos relaciones fundamentales se pudo derivar la función denominada relación final la cual argumenta que mediante esta relación se determina la producción total correspondiente para cada calidad de sitio a la edad que se requiera.

2.6.4 Trabajos afines

Flury en 1907 fue de los primeros en preparar tablas de producción especiales para *Picea* en la región montañosa de Suiza. Gutenberg en 1915

construyó tablas de producción para *Picea*. En Alemania existen tablas de producción para la parte norte y sur del país (Klepac, 1976).

Aguirre (1991) realizó una tabla de producción en base a datos obtenidos en parcelas temporales de muestreo, análisis troncales y mediciones en árboles individuales. El procedimiento se desarrolló en el Estado de Nuevo León, México para la especie de *Pinus pseudostrobus* Lindl. La metodología que se empleó se basó en el cálculo de la producción total de acuerdo al método de Magín. Las relaciones entre los parámetros más importantes de los rodales se determinaron mediante ecuaciones de regresión.

Franco (1997) realizó una tabla de producción para *Pinus rudis* en la sierra de Arteaga, Coahuila en base a análisis troncales en los cuales determinó las curvas de crecimiento en diámetros y alturas promedio y los sistemas de índices de sitio para definir la calidad de estación. Para ello usó los modelos de Chapman Richards y el modelo de Schumacher, el modelo no lineal que se utilizó para trazar la curva de índice de sitio, fue mediante el modelo de Chapman-Richards.

Sánchez *et al.* (2003) realizaron tablas de producción en el cual se exponen modelos de crecimiento y producción de *Pinus radiata* D. Don en Galicia, España a partir de una sola medición de parcelas de inventario, y del análisis de troncos de árboles dominantes y árboles tipo. Se obtiene un modelo de curvas de calidad de estación polimórfico y tres tipos diferentes de tablas de producción para otras tantas posibles evoluciones de la densidad de las parcelas.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Descripción del área

El área de estudio se localiza en el sur del Estado de Nuevo León abarcando tres municipios donde se localizó la especie de *Pinus rudis*, la cual presenta rangos variables de altitud en cada una de las diferentes áreas (Cuadro 1 y Figura 1)

Cuadro 1. Ubicación geográfica de las diferentes áreas para la obtención de sitios de muestreo de *Pinus rudis* Endl. en el Estado de Nuevo León.

Paraje o Ejido	Municipio	Coordenadas Geográficas		Altitud (msnm)
Infiernillo	Galeana	24°29'51.77"N	99°56'21.61"O	3020
La Canoa	Aramberri	24°27'10.27"N	99°52'45.90"O	2700
Joyas de San Diego	General Zaragoza	23°51'12.03"N	99°53'42.28"O	2964

3.1.1 Clima

Según la clasificación climática de Köppen modificada por García-CONABIO (1998) el clima característico de cada una de las áreas de estudio es BS1k(x'), siendo descrito como un clima semiárido, templado con temperatura media anual entre 12°C y 18°C, y temperatura del mes más frío entre -3°C y 18°C, la temperatura del mes más caliente es menor de 22°C. Se presentan lluvias de verano con un porcentaje de lluvia invernal mayor al 18% del total anual. En la parte media y alta de las sierras predomina el clima templado y subhúmedo con lluvias en verano, dando lugar a zonas con pino y encino asociados con chaparrales (Contreras, 2007).

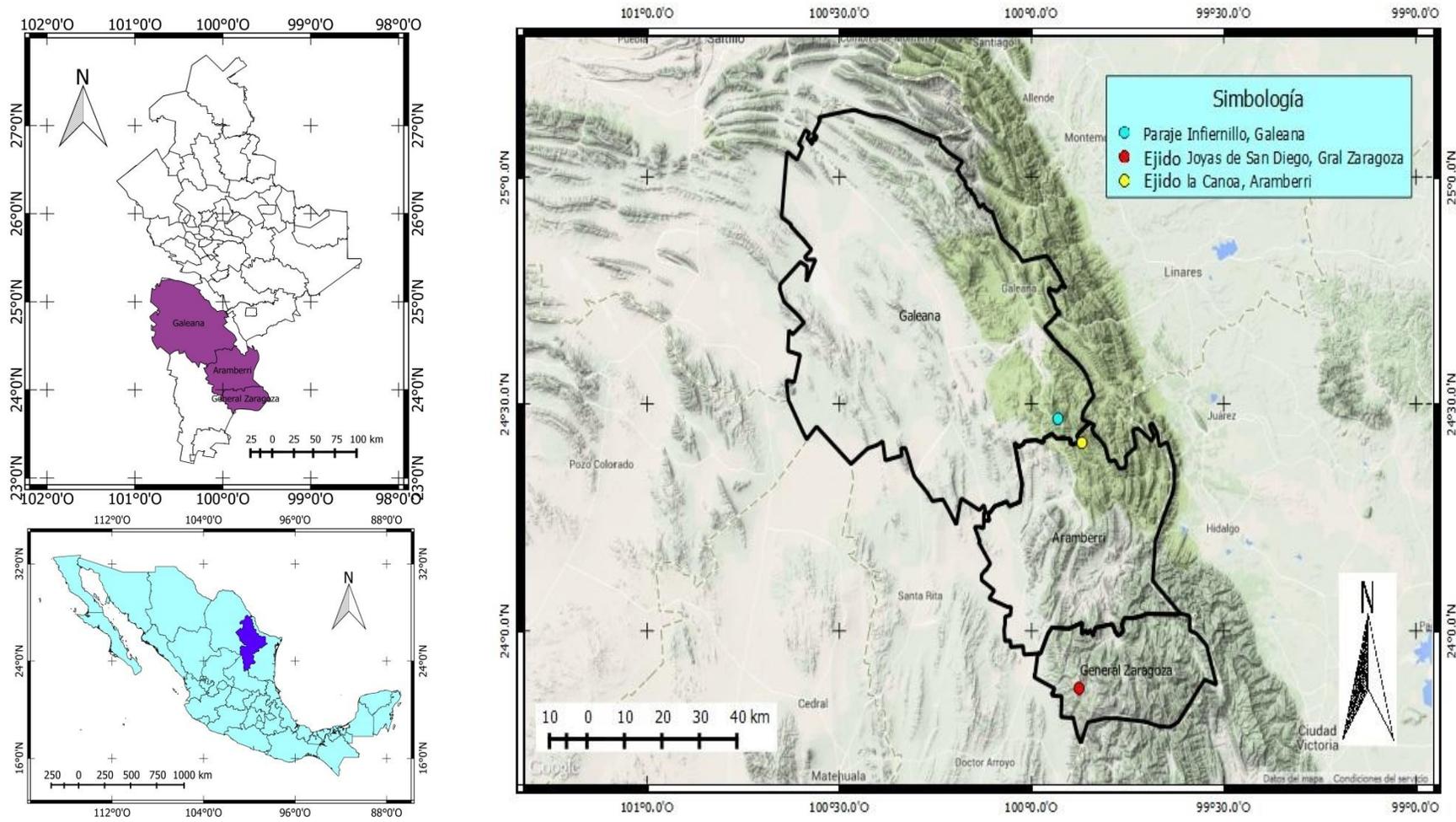


Figura 1. Mapa de localización de las áreas bajo estudio de *Pinus rudis* Endl. en tres localidades del sur de Nuevo León.

3.1.2 Suelo

De acuerdo a la clasificación de la FAO-UNESCO los suelos característicos en las áreas descritas anteriormente se encuentran desde suelos delgados (10 cm de profundidad) y pobres en materia orgánica, hasta suelos poco profundos (50 cm de espesor) con buen contenido de materia orgánica en su superficie y en su mayoría con enriquecimiento de carbonatos (INEGI, 2001). Dentro de los que se encuentran se pueden mencionar Litosol, Rendzina, Vertisol pélico, Regosol Calcárico, Xerosol Cálculo y Feozem Calcárico (INIFAP-CONABIO, 1995).

3.1.3 Vegetación

De acuerdo a INEGI (2014) existen en las diferentes áreas, tipos de vegetación característicos de los bosques de coníferas como asociación vegetal principal y como asociación vegetal secundaria se encuentran bosques de pino-encino, destacando en sí, el bosque de coníferas en las tres localidades bajo estudio. En el estrato arbóreo se encuentra principalmente *Pinus rudis* formando manchones o rodales puros de esta especie. En el estrato arbustivo se puede encontrar el matorral dominado principalmente por *Quercus sp.*

3.1.4 Fisiografía

Las áreas de estudio se encuentran localizadas en la provincia de la Sierra Madre Oriental, dentro de la subprovincia de la Gran Sierra Plegada (INEGI, 2014). Esta provincia es descrita como un conjunto de sierras menores de estratos plegados. En la subprovincia de la Gran Sierra Plegada dominan las capas plegadas de calizas, con prominentes ejes estructurales de anticlinales y sinclinales. Algunas de las sierras y picos de esa subprovincia son Pico del Potosí, en Galeana; Sierra la Marta (con el pico el Morro), en Rayones-Arteaga, Coahuila; sierra Peña Nevada (con el pico San Onofre), en Zaragoza y sierra la Ascensión, en Aramberri; entre otros (Contreras, 2007).

3.1.5 Hidrología superficial

Los municipios en los que se realizó el estudio abarcan parte de la región hidrológica san Fernando-Soto la Marina para los municipios de Galeana y Aramberri; mientras que el área donde se localiza el municipio de General Zaragoza se localiza dentro de la región hidrológica El Salado (Cuadro 2) (INEGI 2014).

Cuadro 2. Hidrología superficial en el área de estudio.

Paraje o Ejido	Municipio	Región Hidrológica	Cuenca	Subcuenca
Infiernillo	Galeana	RH25: San Fernando-Soto la Marina	D: Rio san Fernando	e: Rio limón
La Canoa	Aramberri	RH25: San Fernando-Soto la Marina	B: Rio Soto la Marina	g: Rio Blanco
Joyas de San Diego	General Zaragoza	RH37: El Salado	H: Sierra Madre	c: Doctor Arroyo

3.2 Metodología

3.2.1 Sistema de muestreo y tamaño de los sitios

El método de muestreo utilizado para recabar información en campo fue un muestreo de tipo selectivo o por conveniencia, utilizando como guía, transectos equidistantes a 200 metros uno de otro y dentro de estos transectos se elegían los sitios de muestreo considerando una distancia de aproximadamente 100 metros entre un sitio y otro, siempre y cuando en el sitio elegido se encontraran las condiciones necesarias que se buscaban para cada sitio.

El número de sitios totales que se levantó en las diferentes áreas se presenta en el Cuadro 3, recabando un total de 71 sitios.

Cuadro 3. Tamaño de la muestra en cada área para *Pinus rudis* Endl. en el sur del Estado de Nuevo León.

Paraje o Ejido	Municipio	Número de Sitios levantados
Infiernillo	Galeana	45
La Canoa	Aramberri	7
Joyas de San Diego	General Zaragoza	19

3.2.2 Tamaño, forma y criterios de selección de los sitios

Los sitios que se levantaron en cada área, fueron de una superficie de 1000 m², en forma circular, se utilizó este tipo de muestreo debido a que es uno de los más utilizados en los programas de manejo forestal en bosques de coníferas. Para la delimitación de los sitios se utilizó una cuerda compensada y tomando en cuenta la pendiente del sitio, se le asignó la compensación correspondiente.

Para la selección de cada sitio, estos deberían de tener una densidad normal en lo posible, para tal efecto, se seleccionaron aquellas áreas donde *Pinus rudis* se presenta conformado por manchones puros, homogéneos y preferentemente sin daños de plagas, enfermedades u ocoteados.

3.2.3 Variables evaluadas

Una vez ubicado el sitio de muestreo en el terreno, se trazaron 4 radios desde el centro del sitio hacia los diferentes puntos cardinales, para proseguir al levantamiento de información, la cual fue:

1. Medición de la densidad: para este caso se registró el número de individuos por cada sitio y por categoría diamétrica (CD).
2. Medición del diámetro normal: se realizó con el apoyo de una cinta diamétrica, a una altura de 1.3 metros del suelo (diámetro normal o diámetro a la altura del pecho), esto para cada uno de los individuos dentro del sitio.
3. Medición del diámetro a 0.30 metros: se realizó con el apoyo de una cinta diamétrica a cada uno de los individuos dentro del sitio.

4. Medición de la altura: ésta se obtuvo con el apoyo de una pistola Haga o clinómetro, para ello se tomó en cuenta la pendiente del terreno, ajustando la distancia horizontal de esta. Esta medida fue para el total de los individuos dentro del sitio.
5. Medición del diámetro de copa: ésta medición se llevó a cabo para cada uno de los individuos dentro del sitio, para ello se utilizaron cintas o flexómetros de 25 m. Se llevó a cabo midiendo el diámetro de copa mayor y el diámetro de copa menor, proyectando la última rama viva de cada individuo hacia el suelo.
6. Medición de la edad: para realizar esta medición se eligió un individuo de cada clase diamétrica (CD) y dominante en cuanto a la altura respecto a sus homólogos en la categoría diamétrica. Para ello se utilizó el taladro de Pressler y a una altura de 1.30 metros respecto del suelo se procedió a la extracción de la viruta (cilindro de madera), de esta se contabilizaron cada uno de los anillos de crecimiento anual desde el centro hacia la periferia de la misma y sumando la edad que alcanza un individuo de la misma especie en crecer 1.30 metros.
7. Medición de los últimos 10 anillos: para esto se utilizó una regla con escala milimétrica, se procedió a contabilizar los últimos 10 anillos de crecimiento de cada una de las virutas extraídas obteniendo el dato en milímetros.
8. Medición del tiempo de paso: para la obtención de esta medida se utilizó una regla con escala milimétrica, se procedió a realizar la medición de 2.5 cm del extremo de la viruta hacia el centro de la misma, contabilizando los anillos de crecimiento de la misma y obteniendo un dato de número de años.

Además de estas mediciones por cada sitio, en caso de existir tocones que evidenciaron algún tipo de manejo o extracción de la madera, se procedía a tomar el diámetro del mismo y por cada sitio se tomaron algunos otros datos del sitio como lo es las coordenadas del centro del sitio en datum WGS 84, la exposición

del sitio, la altitud y el lugar donde se realizó el levantamiento del mismo. Esta información fue recabada en dos tipos de formato de campo los cuales se muestran en el Anexo 1 y 2.

3.3 Estimación de la calidad de sitio

Para determinar la calidad de sitio se realizó en base al método del índice de sitio por medio del método de curva guía, generando curvas anamórficas; para ello se utilizó los datos de edad-altura de cada uno de los árboles dominantes por categoría diamétrica. Dichos pares de datos se ajustaron utilizando diversos modelos de crecimiento utilizando el programa estadístico SAS versión 9.0 por medio de la metodología PROC NLIN, siendo una regresión de tipo no lineal presentada por los modelos.

3.3.1 Determinación de diferentes parámetros dasométricos a partir del diámetro del tocón

Con el fin de obtener una base de datos más completa, en los sitios donde se encontraron tocones, producto de la aplicación de tratamientos silvícolas, o bien de posible clandestinaje, de los datos obtenidos de diámetro de la base se procedió a realizar las estimaciones de las variables dasométricas como lo son el diámetro normal, la altura total, y la edad de los diferentes tocones que se localizaron dentro de los sitios de muestreo, para ello se utilizaron 3 modelos lineales en cuanto a la estimación del diámetro normal y la altura total, y para la estimación de la edad de los tocones se utilizaron los mismos 3 modelos lineales y 2 modelos no lineales mismos que se presentan en el Cuadro 4.

Cuadro 4. Modelos utilizados para el cálculo de diámetro normal, altura y edad a partir del diámetro del tocón.

Nombre del modelo	Ecuación
1. Modelo lineal 1	$Y = B_0 + (B_1 * X)$
2. Modelo lineal 2	$Y = B_0 + (B_1 * X^2)$
3. Modelo lineal 3	$Y = B_0 + (B_1 * X) + (B_2 * (X^2))$
4. Schumacher	$Y = \exp (B_0 + B_1/X)$
6. Nauslund	$Y = X^2 / (B_0 + B_1 * X)^2$

B_0, B_1, B_2 : Parámetros del modelo; Y: Diámetro del tocón; X: DN, HT, edad.

Esta base de datos resultante se añadió a los recabados en campo, mismo que sirvió para la determinación de los índices de sitio y la determinación de la edad base.

Una vez realizado el ajuste para cada modelo y con sus respectivos criterios de bondad de ajuste, como lo son el cuadrado medio del error (CME), el coeficiente de variación (CV), el coeficiente de determinación ajustado (R^2_{aj}) y los residuales, se realizó un cuadro donde se califica cada modelo de acuerdo a la bondad de ajuste, se les otorgó una calificación de manera descendiente empezando por la calificación uno para el mejor modelo, dos para el segundo mejor modelo, tres para el tercer mejor modelo, etc., posterior a esto se sumaron todas las calificaciones de cada criterio de bondad de ajuste de cada modelo, y el modelo con la menor calificación resultó ser el mejor.

3.3.1.1 Modelos de crecimiento utilizados para la determinación del índice de sitio y la edad base

Los modelos elegidos para el ajuste de pares de datos de edad-altura y edad-diámetro se presentan en el Cuadro 5. Dichos modelos han sido utilizados por varios autores en este tipo de trabajos (Monroy, 1997; De la Fuente *et al.*, 1998; Bautista, 2001; Calvillo, 2003; Mares, 2003; Morales, 2003; Pereyra, 2003; Madrigal *et al.*, 2004; Corral y Návar, 2005; Cornejo *et al.*, 2005; Magaña *et al.*, 2008; García, 2012; Hernández, 2012; Zúñiga, 2013) debido a su gran bondad de ajuste, mismo que se evaluó por medio de los parámetros propuestos por Barrena *et al.* (1986) como lo son los cuadrados medios del error (CME), y el coeficiente de determinación ajustado (R^2_{aj}), además de estos criterios de selección se escogieron otros estadísticos de ajuste como lo es el valor del coeficiente de variación (CV) y el valor de los residuales (Alder, 1980).

Para la selección del modelo de mejor ajuste, los valores fueron comparados por cada modelo con base en los siguientes criterios: los valores de los cuadrados medios del error (CME) deberían de ser los más bajos, los valores más altos del coeficiente de determinación ajustado (R^2_{aj}), el valor más bajo del

coeficiente de variación (CV), y el valor de los residuales debería ser el más cercano al valor de cero.

Para obtener el valor del coeficiente de determinación ajustado (R^2_{aj}) y el coeficiente de variación (CV), se calculó de la siguiente manera:

$$R^2_{aj} = 1 - \frac{\text{CM Residual}}{\text{CM corregido total}}$$

$$CV = \left(\sqrt{\text{CME/MEDIA}} \right) * 100$$

Cuadro 5. Modelos de crecimiento utilizados para el ajuste de altura y diámetro en base a la edad para *Pinus rudis* Endl. en el sur del Estado de Nuevo León.

Nombre del modelo	Ecuación
1. Schumacher	$Y = \exp(B_0 + B_1/E)$
2. Gompertz	$Y = B_0 * B_1^{(B_2 * E)}$
3. Logístico	$Y = B_1 / (1 + B_2 * \exp(-B_1 * E))$
4. Exponencial	$Y = B_1 * \exp(B_2 * E)$
5. Husch	$Y = B_0 * \exp(-B_1/E)$
6. Nauslund	$Y = E^2 / (B_0 + B_1 * E)^2$
7. Chapman-Richards	$Y = B_0 [1 - \exp(-B_1 * E)]^{B_2}$
8. Weibull	$Y = B_0 \left[1 - \exp(-B_1 (E^{B_2})) \right]$
9. Korf	$Y = B_0 \exp(-B_1 * E^{-B_2})$

Y= variables dependientes en el modelo, diámetro (cm), altura (m); E= edad (años); Exp= exponente B_0, B_1, B_2 =parámetros estadísticos del modelo.

Una vez realizado el ajuste para cada modelo y con sus respectivos criterios de bondad de ajuste, se realizó un cuadro donde se califica cada modelo de acuerdo a la bondad de ajuste, se les otorgó una calificación de manera descendente empezando por la calificación uno para el mejor modelo, dos para el segundo mejor modelo, tres para el tercer mejor modelo, etc., posterior a esto se sumaron todas las calificaciones de cada criterio de bondad de ajuste de cada modelo, y el modelo con la menor calificación resultó ser el mejor.

3.3.1.2 Determinación de la edad base

La edad base se considera como el número de años que se eligen para determinar un índice de sitio (Zepeda y Rivero, 1984). Clutter *et al.* (1983) consideran que la edad base se ubica comúnmente cerca de la edad del turno promedio elegido. Para la determinación de la misma se realizó de dos formas:

1.- Se graficaron los valores del incremento corriente anual (ICA) y los valores del incremento medio anual (IMA) predichos de la variable diámetro y donde se presentó la intersección de estas líneas, el valor de la edad en ese punto correspondiente al turno absoluto de la especie se tomó como edad base.

2.- En la gráfica de los valores predichos o la curva ajustada de los valores de diámetro, al trazar una línea recta partiendo de la ordenada de origen y con tendencia a tocar la curva formando una tangente de la misma, en el punto que esta línea toca a la curva se localiza el turno absoluto de la especie.

Hernández (2012) obtuvo el valor del turno absoluto en la lista de los datos de IMA (predichos) siendo que el valor más alto en este incremento acumulado se presenta a la edad o turno absoluto.

Para la obtención del incremento medio anual (IMA), este se obtuvo mediante la siguiente fórmula:

$$IMA = \frac{DN \text{ (predichos)}}{\text{edad}}$$

Para el cálculo del incremento corriente anual (ICA) se obtuvo mediante la fórmula:

$$ICA = \frac{DN_2^* - DN_1^*}{E_2 - E_1}$$

Dónde:

DN_2^* = Valor del diámetro normal anterior o primera medición

DN_1^* = Valor del diámetro normal superior o segunda medición

E_1 = Edad anterior o de la primera medición

E_2 = Edad superior o de la segunda medición

3.3.1.3 Determinación del índice de sitio por el método de la curva guía

Para la determinación del índice de sitio se eligió la determinación de éste por el método de la curva guía y trazando una familia de curvas anamórficas ya que es una de las técnicas más fáciles y prácticas para la obtención de dicha familia de curvas. Siguiendo la metodología de Zepeda y Rivero (1984) que indican que una vez establecida la tendencia de las curvas por medio del ajuste de los datos de edad altura y establecida la edad base, se determinó el número de clases de calidad de sitio y la equidistancia entre las tendencias promedio a la edad base, para esto se tomó en cuenta los rangos extremos de productividad que existen sobre la edad base. La equidistancia entre las diferentes curvas se definió observando la nube de dispersión de los puntos (datos de campo) y se tomó en cuenta el valor máximo de altura a la edad base y el valor mínimo de altura a la misma edad base, teniendo estos dos valores se obtuvo la diferencia y se estimó la equidistancia a cada tres metros entre curvas y para un total de siete curvas de índice de sitio, esto con el fin de cubrir la mayor parte de la nube de puntos.

Definida esta equidistancia entre las tendencias promedio (ETP) a la edad base establecida y conociendo el índice de sitio promedio (ISP), se estimaron los índices de las clases de calidad restantes. Para este caso del método de la curva guía se realizó de la siguiente manera:

$$\text{IS Clase I} = (\text{ISP}) + (3 \text{ ETP})$$

$$\text{IS Clase II} = (\text{ISP}) + (2\text{ETP})$$

$$\text{IS Clase III} = (\text{ISP}) + (1 \text{ ETP})$$

$$\text{IS Clase IV} = (\text{ISP})$$

$$\text{IS Clase V} = (\text{ISP}) - (1 \text{ ETP})$$

$$\text{IS Clase VI} = (\text{ISP}) - (2\text{ETP})$$

$$\text{IS Clase VII} = (\text{ISP}) - (3 \text{ ETP})$$

Los valores resultantes de las operaciones anteriores dieron como resultado los valores de los índices de sitio para cada clase de calidad.

Una vez conocidos los valores se prosiguió a la obtención de los valores de los puntos que pasarán a definir el comportamiento de cada una de las curvas de calidad de sitio, esto se realizó por medio del coeficiente de proporcionalidad lo cual resultó de la siguiente operación:

$$CP_i = ISP/IS_i$$

Donde

i = valor de los IS clase I, IS clase II,... IS clase VII

Posterior a esto se procedió a la estimación de los valores que definieron la tendencia promedio de cada curva en las diferentes calidades de sitio o curvas de índice de sitio, por medio de la operación:

$$H_{it} = (\bar{h}_t) / (CP_i)$$

Donde:

H_{it} = altura de la curva "i" a la edad "t" (m)

CP_i = coeficiente de proporcionalidad para la curva "i"

\bar{h}_t = alturas de la curva guía a la edad "t" (m)

3.3.2 Metodología para la construcción de la tabla de producción para *Pinus rudis* Endl.

3.3.2.1 Cálculo del número de árboles por hectárea

Para el cálculo del número de árboles por hectárea se utilizó la guía de densidad de *Pinus rudis* Endl. elaborada por Alonso (1996). A partir de esta se calculó el número de árboles por hectárea para los grados de densidad del 100% y el 90%.

En la tabla de producción que se elaboró en el presente trabajo se utilizó la densidad del 90%, ya que la densidad del 100% es considerada como una condición poblada o sobrepoblada, afectando los incrementos dentro del sitio, así mismo se considera una densidad del 70% como la densidad mínima aceptable, quedando el rango de la densidad de > 70% a <90% como la densidad posible a utilizar considerándose una condición poblada o que es el número máximo de árboles que se pueden cosechar.

Así mismo, para la utilización del modelo para la estimación del número de árboles por hectárea los diámetros promedio se convirtieron a diámetros cuadráticos mediante una ecuación generada en la misma guía de densidad de Alonso (1996), la cual es:

$$Dq = 1.0654 (DN)$$

DN = Diámetro normal

A partir de esta ecuación se obtuvo el diámetro cuadrático para cada diámetro normal por clase de edad y así mismo se obtuvo el número de árboles por categoría diamétrica y por clase de edad para cada índice de sitio.

3.3.2.2 Determinación del diámetro con base a la altura

Se realizó la determinación del diámetro normal con base a la altura, esto para que se encontrara una diferenciación clara al momento de calcular el volumen y área basal por hectárea en cada índice de sitio y que a la vez este parámetro estuviera relacionado con la edad y la altura.

Para ello se ajustaron los datos de Altura-Diámetro a modelos de regresión no lineal mismos que se presentan en el Cuadro 4. Una vez ajustados los pares de datos se procedió a la elección del mejor modelo en cuanto a su bondad de ajuste por los parámetros descritos por Barrena *et al.* (1986) como lo son los cuadrados medios del error (CME), y el coeficiente de determinación ajustado (R^2_{aj}), además de estos criterios de selección se escogieron otros estadísticos de ajuste como lo es el valor del Coeficiente de Variación (CV), la suma de cuadrados del error (SCE) y el valor de los residuales (Alder, 1980).

3.3.2.3 Cálculo del área basal por hectárea

El cálculo del área basal por hectárea se realizó una vez teniendo el modelo de número de árboles por hectárea en función de la altura y el ajuste del modelo del diámetro en función de la altura. Teniendo estos modelos se procedió al cálculo del área basal individual por medio del dato de diámetro normal utilizando la fórmula:

$$AB = DN^{2*}(0.7854)$$

Dónde:

AB= área basal individual (m²)

DN= diámetro normal (m)

Teniendo el área basal individual esta se multiplicó por el número de árboles por hectárea correspondiente a su categoría de edad, dando por resultado el área basal por hectárea. Este procedimiento se realizó para cada índice de sitio que se presentó.

3.3.2.4 Cálculo del volumen por hectárea

Para el cálculo del volumen primero se obtuvo el volumen que tendría un individuo a cierta edad y con las variables dasométricas correspondientes a dicha edad (diámetro en centímetros y altura en metros), dicho volumen se obtuvo por medio de la ecuación de predicción de volumen de la SARH (1985) la cual fue:

$$\text{Vol.} = \text{Exp} [-9.87323370 + 1.85512732 \text{ Log (DN)} + 1.11426549 \text{ Log (HT)}]$$

Dónde:

Vol. = volumen

DN = diámetro normal (cm)

HT = altura (m)

Log = logaritmo

Una vez obtenido el volumen correspondiente a un árbol individual, se procedió a multiplicar este valor por el número de individuos correspondientes a la misma categoría de edad. Procedimiento que se realizó para cada índice de sitio presente.

3.3.2.5 Elaboración de las tablas de producción por índice de sitio

Las tablas de producción se elaboraron en base a la categorización de la edad, iniciando a una edad de 20 años en cada una de ellas y terminando a una edad de 135 años. Este rango de edades se determinó en base a la amplitud de los datos recabados en campo.

La información que proporciona la tabla de producción es:

- El índice de sitio al que pertenece.
- Edad: categorizada a cada 5 años (años).
- Altura: en base al índice de sitio correspondiente y obtenido mediante las curvas anamórficas del índice de sitio correspondiente (metros).
- Dn: diámetro normal correspondiente a cada altura presentada y calculado por medio de ecuaciones de regresión correspondientes a cada condición (centímetros).
- Arb/ha: número de árboles por hectárea obtenidos mediante ecuación de regresión correspondiente a cada condición (árboles)
- AB: área basal correspondiente a un individuo respecto de la categoría de edad y diámetro normal (m^2).
- Vol.: volumen correspondiente a un individuo respecto a una categoría de edad, diámetro y altura especificado (m^3).
- AB/ha: área basal por hectárea para una categoría de edad respectiva.
- Vol. /ha: volumen por hectárea correspondiente a la categoría de edad respectiva.

3.3.2.6 Cálculo de la remoción

Se realizó una simulación de aplicación de tratamientos silvícolas para la elaboración de la presente tabla de producción, en la cual la remoción que se aplicó al rodal existente en pie, se basó en mantener el bosque en una densidad máxima deseada del 90% esto sin importar el grado de densidad mínimo residual al momento después de la aplicación de las remociones.

Estas remociones se aplicaron para cada clase de edad para las categorías donde se localizó mayor densidad de árboles, se aplicaron preaclareos a cada 5 años, mismos que se realizaron en las primeras edades de desarrollo del rodal a

partir de cierta densidad se procedió a realizar las intervenciones a cada 10 años hasta la corta final, obteniendo un turno de 70 años.

Se consideraron diversos tratamientos, los cuales fueron: 2 preaclareos, el primero a la edad de 20 años, el segundo pre aclareo se realizó a la edad de 25 años, mientras que a partir de la edad de 30 hasta los 60 años se consideran aclareos y considerando que en los próximos 10 años de la aplicación de las remociones, la densidad se recuperara al 90% de la total, se prosiguió con estos hasta la edad de 60 años.

Por último se realizó una corta de regeneración a la edad de 70 años tratando de dejar una condición residual de aproximadamente 30 árboles por hectárea, mismos que servirán como árboles padre para asegurar la regeneración, y aplicando la corta de liberación a la edad de 80 años.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Correlaciones alométricas

De acuerdo a los datos presentados en el Cuadro 6 donde se realizaron las correlaciones alométricas para el cálculo de los diferentes parámetros dasométricos de los tocones que se localizaron en los sitios de muestreo, la inferencia del diámetro normal, sobre el diámetro de la base es alto, con un coeficiente de correlación de 0.9941, Por otro lado la inferencia sobre la altura y edad con respecto al diámetro de la base, es significativa, con un coeficiente de correlación de 0.8525 para diámetro de la base y altura y 0.8169 para diámetro de la base y edad.

Cuadro 6. Correlaciones alométricas para *Pinus rudis* Endl. en tres localidades del sur de Nuevo León.

	DN	DC Prom	Área_Copa	HT	DB	Edad
DN	1.0000	0.9240	0.8676	0.8555	0.9941	0.8136
DC Prom	0.9240	1.0000	0.9659	0.7555	0.9133	0.7367
Área_Copa	0.8676	0.9659	1.0000	0.6530	0.8556	0.6619
HT	0.8555	0.7555	0.6530	1.0000	0.8525	0.7655
DB	0.9941	0.9133	0.8556	0.8525	1.0000	0.8169
Edad	0.8136	0.7367	0.6619	0.7655	0.8169	1.0000

DN: Diámetro normal, DC prom: diámetro de copa promedio, HT: altura total, DB: diámetro de la base.

4.2 Estimación de las variables dasométricas por medio del diámetro del tocón

4.2.1 Estimación de diámetro normal a partir del diámetro del tocón

Para la obtención del diámetro normal para los tocones que se localizaron en el área de estudio, se utilizaron los datos de diámetro normal y el diámetro del tocón recabados durante el muestreo realizado en campo, estos datos se ajustaron con ayuda del programa STATISTICA 7 por medio los modelos de

regresión que se mencionaron en el Cuadro 4, modelos que son lineales y se compararon unos con otros los cuales se calificaron en base a cada uno de los parámetros de bondad de ajuste (Anexo 3).

El mejor modelo que resultó para la estimación de este parámetro dasométrico fue el modelo lineal 3 cuya fórmula es la siguiente:

$$Y = B_0 + (B_1 * X) + (B_2 * (X^2))$$

Una vez realizado el ajuste de los datos, el modelo resultó con los siguientes parámetros:

$$DN = (-1.9315) + ((0.891126) * DB) + ((-0.39e-3) * (DB^2))$$

Dónde:

DN: diámetro normal (cm)

DB: diámetro del tocón o a la base (cm)

Por medio de esta ecuación fue posible calcular el diámetro normal para los tocones encontrados en el sitio (Figura 2).

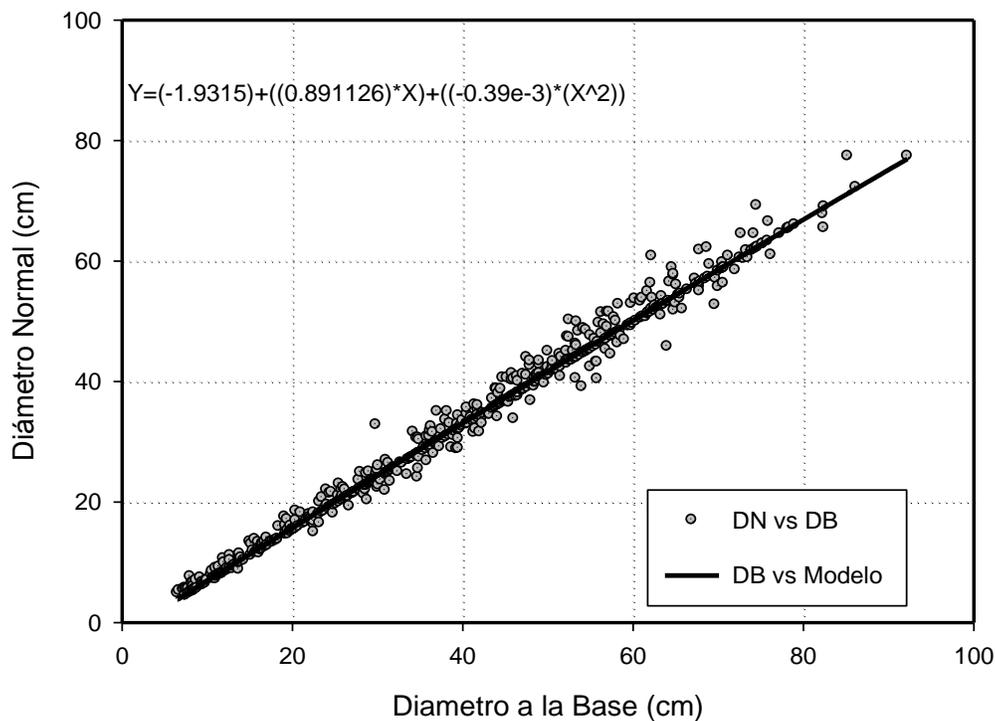


Figura 2. Modelo ajustado para el cálculo del diámetro normal a partir del diámetro del tocón para *Pinus rudis* Endl. en tres localidades del sur de Nuevo León.

Estos resultados se asemejan a lo encontrado por Quiñonez *et al.* (2012) donde utilizaron los mismos modelos lineales para la predicción del diámetro normal, en el cual encontraron que este mismo modelo utilizado fue el mejor para la predicción de diámetro normal para *Pinus teocote*, obteniendo un coeficiente de determinación ajustado de 0.95 y un coeficiente de variación de 8.23, mientras que para el caso del presente trabajo se obtuvo un coeficiente de determinación ajustado de 0.9971, así como el coeficiente de variación más bajo (1543.40) en comparación con los otros modelos que se utilizaron (Anexo 3).

4.2.2 Estimación de altura a partir del diámetro del tocón

La estimación de la altura se realizó por medio de los modelos lineales mencionados en el Cuadro 4, con los cuales el modelo de mejor ajuste fue el modelo lineal 3, obteniendo para este un coeficiente de determinación ajustado (R^2_{aj}) de 0.9486 y un coeficiente de variación de 1444.45 (Anexo 4), modelo que en comparación a los ajustados para el mismo fin resultó ser el mejor para este caso y en el cual se denota con la fórmula siguiente:

$$Y = B_0 + (B_1 * X) + (B_2 * (X^2))$$

Los parámetros que resultaron del ajuste de datos son los siguientes (Figura 2).

$$H = (0.257944) + ((0.62267) * DB) + ((-0.00436) * (DB^2))$$

Dónde:

H: altura total (m)

DB: diámetro del tocón o de la base (cm)

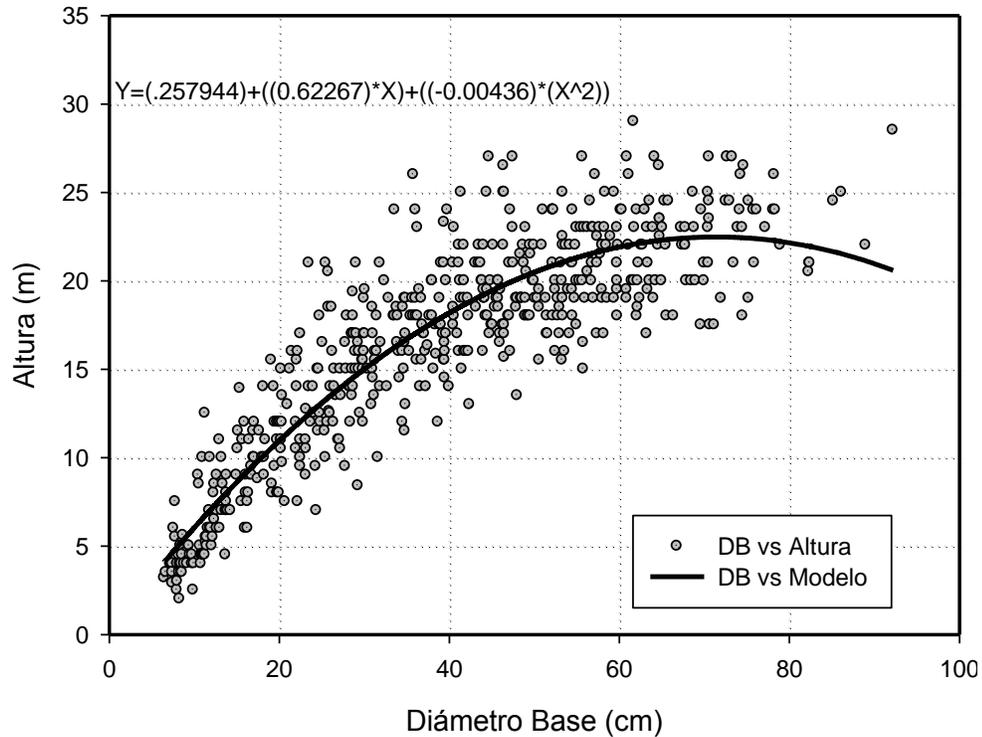


Figura 3. Modelo ajustado para el cálculo de la altura a partir del diámetro del tocón para *Pinus rudis* Endl. en tres localidades del sur de Nuevo León.

Por su parte Quiñonez *et al.* (2012) obtuvieron resultados semejantes, al estimar la altura con base en el tocón, esto para las especies de *Pinus teocote* y *Pinus duranguensis*, obteniendo un coeficiente de determinación ajustado de 0.59 y de 0.49, mientras que para el presente trabajo el coeficiente de determinación ajustado fue de 0.9486 (Anexo 4).

4.2.3 Estimación de la edad a partir del diámetro del tocón

La estimación de la edad para los tocones se realizó por medio de los modelos lineales y no lineales presentados en el Cuadro 4, de los cuales se seleccionó el modelo de mejor ajuste y menos calificación asignada (Anexo 5) de los cuales el mejor modelo fue el modelo lineal 3, (Figura 4) obteniendo así el modelo:

$$\text{Edad} = (0.860118) + ((1.75883) * \text{DB}) + ((-0.00825) * (\text{DB}^2))$$

Dónde:

DB: diámetro de la base (cm)

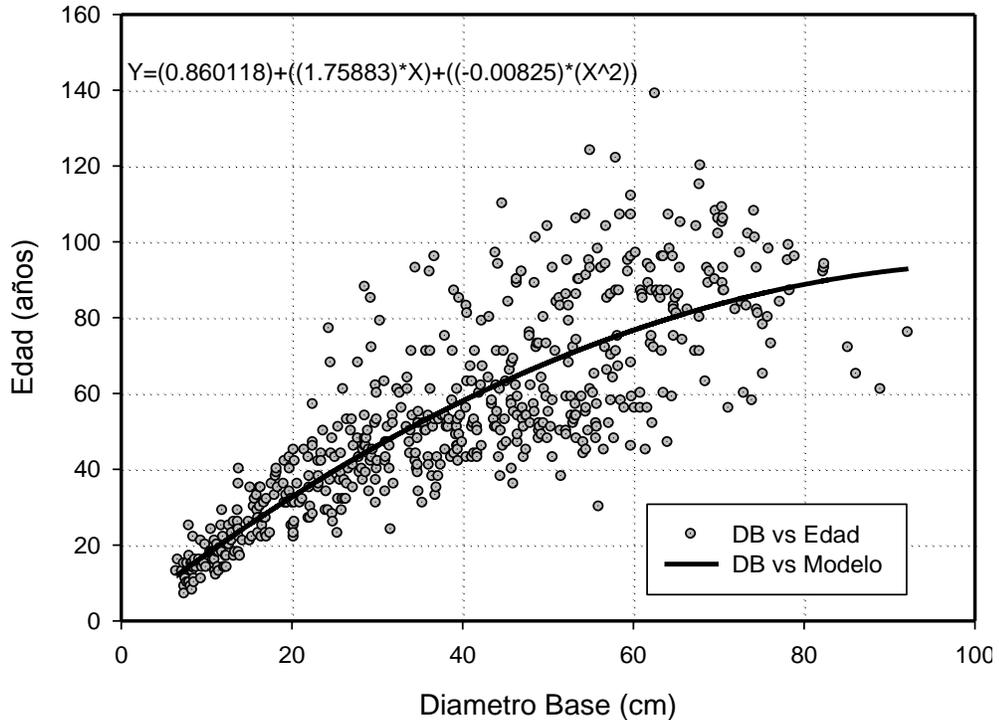


Figura 4. Modelo ajustado para el cálculo de la edad a partir del diámetro del tocón para *Pinus rudis* Endl. en tres localidades del sur de Nuevo León.

4.3 Definición del turno o edad base

Para la determinación de la edad base, se optó por determinarla por medio del turno absoluto (Clutter *et al* 1983) en diámetro para la especie, esto se obtuvo al graficar el ICA e IMA en diámetro (Figura 6) y la curva de crecimiento del mismo modelo (Figura 7); dicha edad base resultó a los 70 años, los modelos de crecimiento ajustados fueron contenidos en el (Cuadro 5), de los cuales se eligió el modelo de Weibull, por tener los parámetros de bondad de ajuste más altos (Figura 5), en comparación de los otros modelos que se utilizaron; con un CME de 81.37 y una R^2_{aj} de 0.9483, otros modelos como lo es el de Schumacher y el

modelo de Husch obtuvieron ambos una R^2_{aj} de 0.9472 y modelo de Nauslund una R^2_{aj} de 0.9456 las cuales son muy semejantes, sin embargo los valores de los residuales fueron más altos que los que corresponden al modelo de Weibull (Cuadro 7).

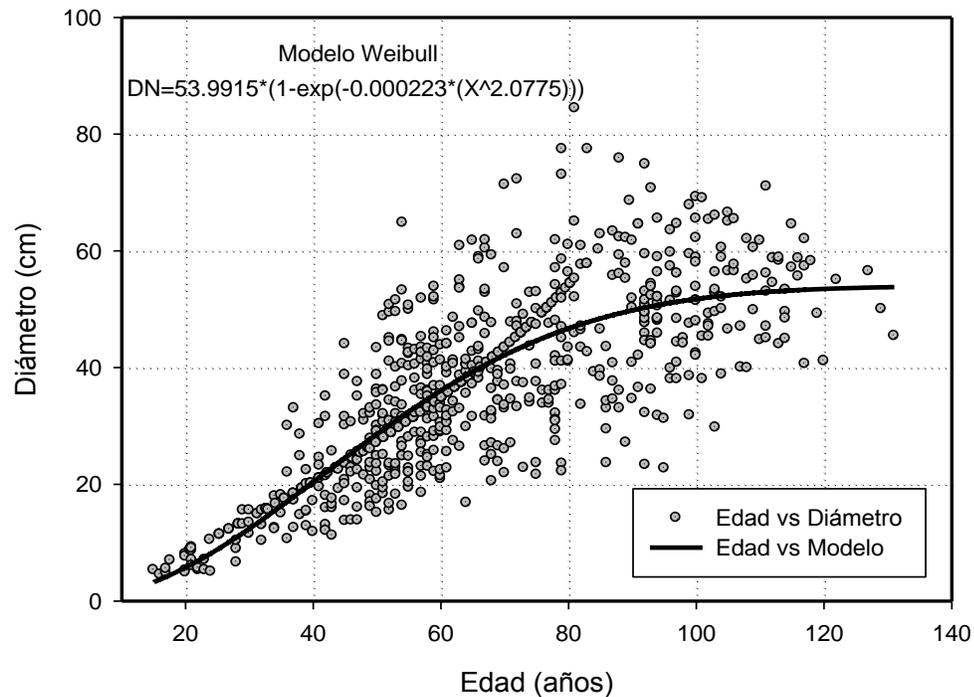


Figura 5. Modelo de Weibull utilizado para el cálculo de ICA e IMA en Diámetro y para la curva de crecimiento en Diámetro para *Pinus rudis* Endl., en tres localidades del sur de Nuevo León.

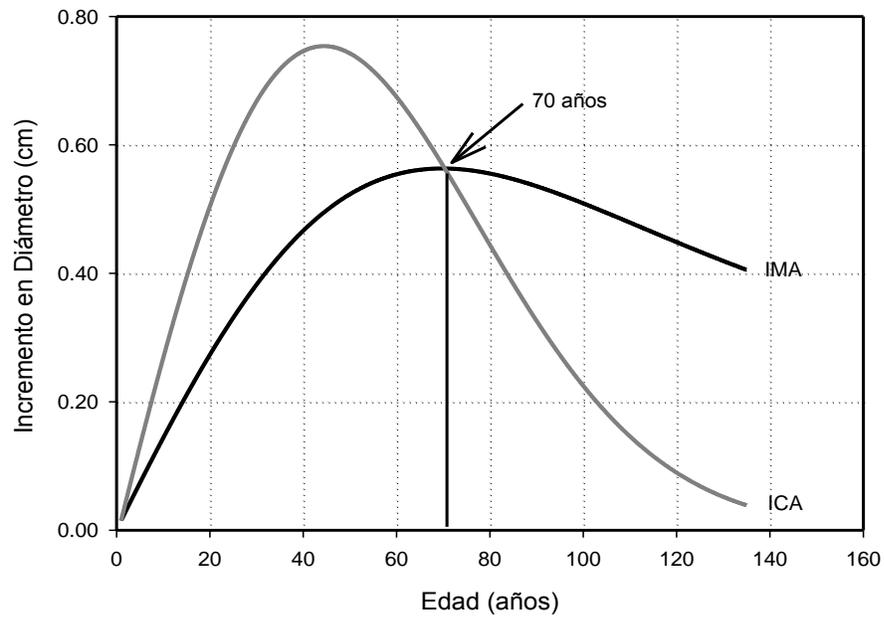


Figura 6. Curvas de ICA e IMA como apoyo para determinar la edad base, para *Pinus rudis* Endl., en tres localidades del sur de Nuevo León.

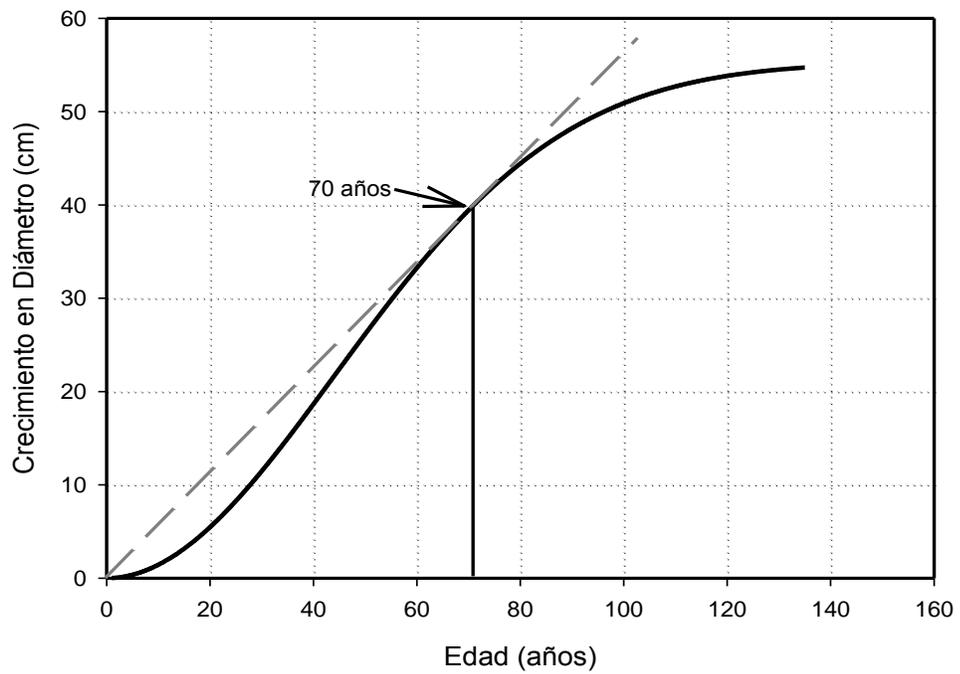


Figura 7. Curva de crecimiento y la recta tangente como apoyo para definir el turno absoluto de *Pinus rudis* Endl., en tres localidades del sur de Nuevo León.

Lo anterior coincidió con lo obtenido por Hernández (2012) ya que utilizó el modelo de Weibull para el cálculo del turno absoluto en altura para la especie de *Pinus montezumae*. En su caso obtuvo que dicho turno fue a la edad de 42 años. El mismo autor encontró un turno absoluto en diámetro a la edad de 41 años, mediante el modelo de Korf, en el caso del presente trabajo el modelo de Korf presentó una R^2_{aj} de 0.8599, siendo este el segundo peor modelo. Por otra parte Cornejo *et al.* (2005) utilizaron el modelo de Gompertz para el mismo caso, donde determinaron una edad base de 32 años para la construcción de curvas anamórficas; mientras que el modelo de Gompertz para la determinación de edad base se obtuvo una R^2_{aj} de 0.9301 siendo el sexto mejor modelo.

Con respecto a la edad base obtenida a partir del diámetro normal es diferente a la encontrada por otros autores; Magaña *et al.* (2008) para la construcción de índices de sitio para *Pinus rudis* Endl., utilizaron una edad base de 50 años, empleando el modelo de Schumacher y con una base de datos obtenida por medio de análisis troncales; algo semejante obtenido por Magaña *et al.* (2008) fue en el trabajo realizado por Vargas *et al.* (2010) donde utilizan una edad base de 50 años en *Pinus cooperi* Blanco para la elaboración de curvas de índice de sitio; De los Santos *et al.* (2013) utilizaron una edad base de 40 años para *Pinus pátula* en la construcción de curvas anamórficas de índice de sitio, esto en Zacualtipán de los Ángeles, Hidalgo. Por otro lado Mares (2003) estimó una edad base diferente para curvas anamórficas y polimórficas, obteniendo una edad de 32 años para *Pinus herrerae* Martínez en la construcción de curvas anamórficas de índice de sitio y una edad base de 40 años para la construcción de curvas polimórficas; mientras que Aguirre (1991) en la elaboración de tablas de producción estimó índices de sitio en *Pinus pseudostrobus* Lindl. a una edad base de 50 años; sin embargo el contraste más fuerte lo presenta Franco (1997), ya que utilizó una edad base de 100 años para la elaboración de las curvas de índice de

sitio para una tabla de producción, posiblemente debido a que es considerada una especie de lento crecimiento además de que es una de las especies que menos incrementos presenta debido a las condiciones donde se le localiza (Martínez, 1948).

Cuadro 7. Parámetros estadísticos de los modelos analizados y su calificación para la definición del turno o la edad base para *Pinus rudis* Endl. en tres localidades del sur de Nuevo León.

MODELO	CME	Valor	CV	Valor	R ² _{aj}	Valor	Residuales	Valor	B0	B1	B2	SUMA
Schumacher	83.09	2	24.88	2	0.9472	2	-10.93	2	4.5417	-58.1604		8
Gompertz	109.90	6	28.62	6	0.9301	6	-140.66	5	16.5501	0.7310	-0.0370	23
Logístico	154.10	7	33.89	7	0.9020	7	1680.12	8	1.5640	-0.0003	-0.9376	29
Exponencial	109.90	5	28.62	5	0.9301	5	-153.62	6	16.5502	0.0116		21
Husch	83.09	3	24.88	3	0.9472	3	-10.40	1	93.8491	58.1609		10
Nauslund	85.56	4	25.25	4	0.9456	4	-110.69	4	4.7213	0.0904		16
Chapman-Richards	231.80	9	41.56	9	-0.015	9	180.25	7	36.6717	1.11E-06	0.0008	34
Weibull	81.37	1	24.63	1	0.9483	1	35.46	3	53.9915	0.0002	2.0775	6
Korf	220.40	8	40.53	8	0.8599	8	1982.89	9	530.5000	3.0103	0.0222	33

CME= cuadrados medios del error; CV= coeficiente de variación (%); R²_{aj} = coeficiente de determinación ajustado; B₀, B₁, B₂= Valor del parámetro estadístico del modelo; Valor = calificación respecto a los modelos presentados; SUMA = sumatoria de la calificación para cada modelo ajustado.

4.4 Calidad de sitio e índice de sitio

Para la obtención de las diferentes clases de calidad o índices de sitio se utilizaron los pares de datos de edad-altura dominante mismos que se extrajeron en el muestreo de campo más la base de datos que se obtuvo del cálculo de los diferentes parámetros dasométricos en base a los tocones encontrados en campo. Para esto se encontró que el mejor modelo fue el de Weibull, debido a que mostró un mayor ajuste y predicción de los datos, así como los valores más bajos en cuanto a la calificación asignada del conjunto de modelos CME (9.73) y un coeficiente de determinación ajustado (R^2_{aj}) de 0.9733 (Cuadro 8 y Figura 8).

El rango entre las alturas extremas que se observó en la distribución de datos fue de 22.5 m, para lo cual se determinó un intervalo entre curvas de tres metros, obteniendo así siete curvas de índice de sitio.

Definido lo anterior se procedió a la determinación del índice de sitio promedio, el cual se estimó a los 20.4 metros (Figura 9) y los índices de sitio restantes los cuales se les asignó una clase de calidad de sitio que van de la calidad de sitio I considerándose como la mejor calidad de sitio a la calidad de sitio VII, siendo considerada esta como la peor clase de calidad de sitio y su respectivo índice de sitio (metros). Los valores de cada uno de los índices de sitio se presentan en el Cuadro 9.

Cuadro 8. Parámetros estadísticos de los modelos analizados y su calificación para la definición de la curva guía para *Pinus rudis* Endl. en tres localidades del sur de Nuevo León.

MODELO	CME	Valor	CV	valor	R ² _{aj}	Valor	Residuales	Valor	B ₀	B ₁	B ₂	SUMA
Schumacher	9.85	5	17.06	5	0.9677	7	-8.51	4	3.4949	-34.9947		21
Gompertz	13.87	9	20.25	9	0.9620	9	-31.35	9	10.8104	0.2988	-0.0065	36
logístico	9.79	4	17.01	4	0.9732	4	-10.77	6	23.0888	0.0613	8.9356	18
Exponencial	13.87	8	20.25	8	0.9620	8	-29.39	8	10.8103	0.0079		32
Husch	9.85	6	17.06	6	0.9730	5	-7.92	3	32.9456	34.9947		20
Nauslund	10.12	7	17.30	7	0.9723	6	-22.46	7	4.1499	0.1653		27
Chapman-Richards	9.72	1	16.95	1	0.9734	1	9.22	5	24.0270	0.0389	2.4673	8
Weibull	9.73	1	16.96	2	0.9734	2	-5.40	1	23.4246	0.0023	1.5970	6
Korf	9.77	3	17.00	3	0.9732	3	5.59	2	28.6260	94.7939	1.3169	11

CME= cuadrados medios del error; CV= coeficiente de variación (%); R²_{aj} = coeficiente de determinación ajustado; B₀, B₁, B₂ = Valor del parámetro estadístico del modelo; Valor = calificación respecto a los modelos presentados; SUMA = sumatoria de la calificación para cada modelo ajustado.

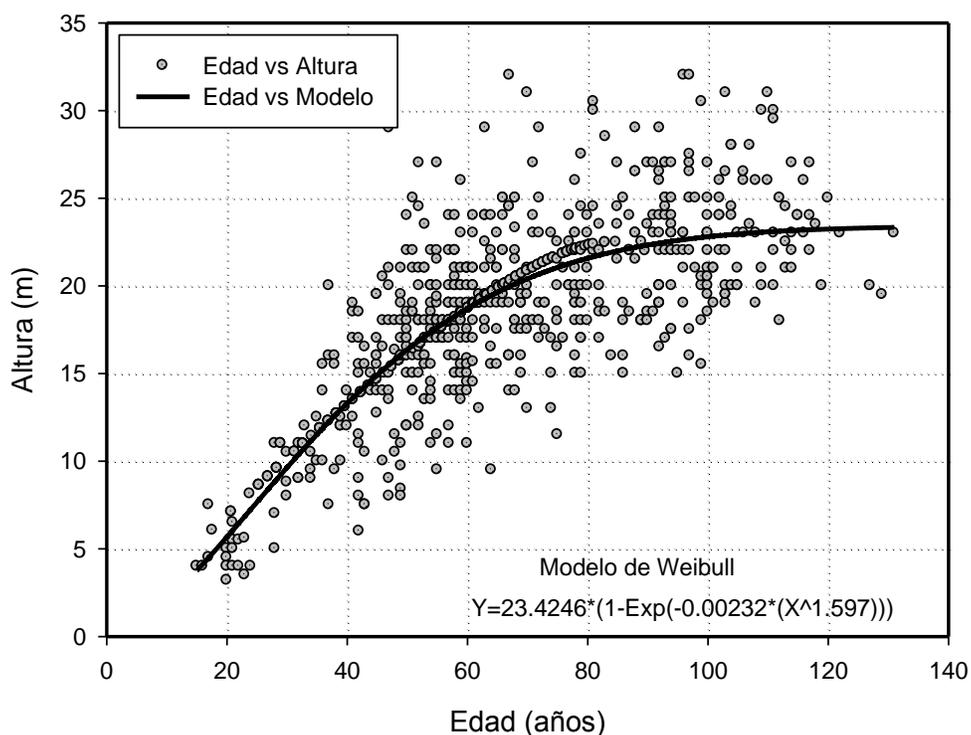


Figura 8. Modelo de Weibull ajustado a los valores de edad-altura para la determinación de la curva guía para *Pinus rudis* Endl., en tres localidades en el sur de Nuevo León.

Cuadro 9. Clases de calidad de sitio e índices de sitio y coeficientes de proporcionalidad para *Pinus rudis* Endl. de tres localidades del sur de Nuevo León.

Clases de calidad de sitio	Índices de sitio	Coefficiente de proporcionalidad	%
I	29.4	0.69	69.40
II	26.4	0.77	77.28
III	23.4	0.87	87.19
IV	20.4	1.00	100.00
V	17.4	1.17	117.23
VI	14.4	1.42	141.63
VII	11.4	1.79	178.85

Con los valores de índice de sitio (Cuadro 9) y con los correspondientes a la curva de sitio promedio (Clase de calidad IV, IS 20.4) o curva guía se estimaron las tendencias de las curvas para cada índice de sitio (Figura 9).

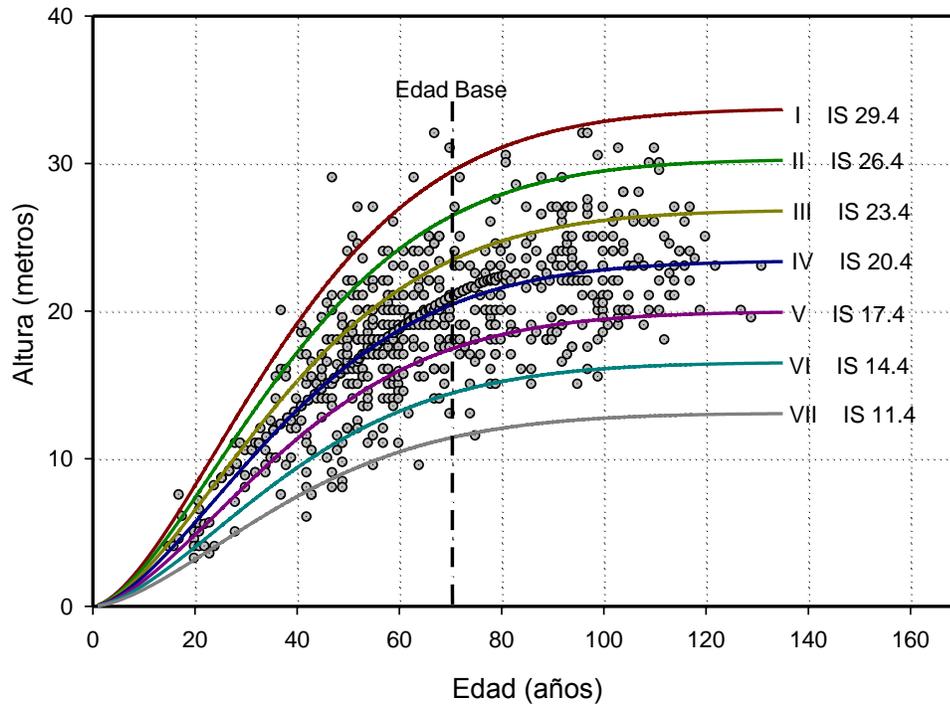


Figura 9. Familia de curvas anamórficas de índice de sitio para *Pinus rudis* Endl., en rodales de densidad completa para tres localidades del sur de Nuevo León.

Los valores de altura que indican la tendencia de cada curva se presentan en el Cuadro 10.

Cornejo *et al.* (2005) obtuvieron para *Pinus montezumae* Lamb. en Cd. Hidalgo, Michoacán cinco clases de calidad o índice de sitio a una edad base de 32 años, con los valores de índice de sitio 28, 24.5, 21, 17.5 y 14 para la clase de calidad I, II, III, IV y V respectivamente.

Cuadro 10. Alturas por clase de edad para los diferentes índices de sitio de *Pinus rudis* Endl. en tres localidades del sur de Nuevo León.

Edad	IS 29.4	IS 26.4	IS 23.4	IS 20.4	IS 17.4	IS 14.4	IS 11.4
5	1.01	0.91	0.80	0.70	0.60	0.49	0.39
10	2.96	2.66	2.35	2.05	1.75	1.45	1.15
15	5.43	4.87	4.32	3.77	3.21	2.66	2.11
20	8.18	7.34	6.51	5.68	4.84	4.01	3.17
25	11.26	10.12	8.97	7.82	6.67	5.52	4.37
30	13.89	12.47	11.06	9.64	8.22	6.81	5.39
35	16.62	14.93	13.23	11.54	9.84	8.15	6.45
40	19.01	17.07	15.13	13.20	11.26	9.32	7.38
45	21.50	19.30	17.11	14.92	12.73	10.53	8.34
50	23.54	21.14	18.74	16.34	13.94	11.54	9.14
55	25.27	22.70	20.12	17.54	14.96	12.38	9.81
60	26.96	24.21	21.46	18.71	15.96	13.21	10.46
65	28.30	25.41	22.53	19.64	16.75	13.87	10.98
70	29.41	26.41	23.41	20.41	17.41	14.41	11.41
75	30.34	27.24	24.15	21.05	17.96	14.87	11.77
80	31.04	27.87	24.71	21.54	18.38	15.21	12.04
85	31.67	28.44	25.21	21.98	18.75	15.52	12.29
90	32.14	28.87	25.59	22.31	19.03	15.75	12.47
95	32.56	29.24	25.92	22.60	19.27	15.95	12.63
100	32.85	29.50	26.15	22.80	19.45	16.10	12.75
105	33.08	29.71	26.33	22.96	19.59	16.21	12.84
110	33.26	29.87	26.47	23.08	19.69	16.30	12.91
115	33.39	29.98	26.58	23.17	19.77	16.36	12.96
120	33.49	30.07	26.66	23.24	19.83	16.41	13.00
125	33.56	30.14	26.72	23.29	19.87	16.45	13.02
130	33.62	30.19	26.76	23.33	19.90	16.47	13.04
135	33.66	30.22	26.79	23.36	19.93	16.49	13.06

Por otra parte De los Santos *et al.* (2013) obtuvieron 4 curvas anamórficas de índice de sitio a la edad base de 40 años en la especie de *Pinus patula* en Zacualtipán, Hidalgo, obteniendo así los valores de índice de sitio 32, 29, 26 y 23 para las clases de edad I, II, III y IV respectivamente mediante el modelo de Hossfeld IV anamórfico.

Por otra parte Aguirre (2013) aplicó la función de Chapman-Richards para la especie de *Pinus teocote* Schltdl. en el noreste de México, de los cual resultó una familia de cinco curvas anamórficas a la edad base de 50 años con los índices de sitio de 21, 18, 15, 12 y 9 metros.

Así mismo, Benavides y Manzanilla (1993) realizaron la estimación de la calidad de sitio mediante la construcción de curvas de índice de sitio para *Pinus michoacana* cornuta Martínez a través del análisis troncales de 25 árboles mediante el ajuste de los datos por medio del modelo de Schumacher a una edad base de 45 años obteniendo así tres índices de sitio de 31.89, 25.89 y 19.89.

Los resultados de estos autores son muy diferentes a comparación de lo obtenido en el presente trabajo, esto se refleja principalmente en las clases de calidad superiores e inferiores, pues en el presente trabajo el mejor índice de sitio fue de 29.4 y el índice de sitio más bajo fue de 11.4, similar al trabajo de Cornejo *et al.* (2005) donde su Índice de sitio mejor fue de 28 y el índice de sitio más bajo fue de 14. Por otra parte Franco (1997) al utilizar una edad base de 100 años en *Pinus rudis* estableció tres curvas anamórficas de índice de sitio con los valores de 18.6, 15.6 y 12.6 para las clases de calidad I, II y III respectivamente, esto en la sierra de Arteaga, Coahuila. Al comparar el trabajo mencionado anteriormente con el presente trabajo se puede observar una clara diferencia de productividad entre las diferentes localidades aun tratándose de la misma especie (Aguirre y Kramer, 1990), esto no se le pudo atribuir a un solo factor, pues como se ha visto, la productividad está en función de los factores bióticos como abióticos, sin embargo, algunos factores muy comunes que afectan la productividad son las plagas y/o enfermedades, así como la de la competencia de las especies en el lugar que cohabitan. (Torres y Magaña, 2001).

4.5 Elaboración de la tabla de producción

4.5.1 Determinación del número de árboles

4.5.1.1 Determinación del Diámetro cuadrático

Para la determinación del número de árboles por hectárea, primeramente se obtuvo el diámetro cuadrático por cada categoría de diámetro, para lo cual se utilizó el modelo generado en la guía de densidad de Alonso (1996) donde obtuvo dicha ecuación por medio de una ecuación lineal de pares de datos de diámetro normal y diámetro cuadrático la ecuación resultante fue:

$$Dq = 1.0654 (DN)$$

Dónde:

Dq = diámetro cuadrático

DN = diámetro normal por clase de edad (cm)

A partir de esta ecuación se generó una tabla con los valores de diámetro cuadrático para cada categoría diamétrica (Cuadro 11).

Por ejemplo para la categoría de 10 cm

$$Dq = 1.0654 * 10$$

$$Dq = 10.65402$$

Con este modelo fue posible obtener los diámetros cuadráticos para cada una de las categorías diamétricas que se localizaron y a su vez utilizar el modelo para el cálculo de la densidad en el área.

Cuadro 11. Valores del diámetro normal y diámetro cuadrático medio por sitio para *Pinus rudis* Endl. en tres localidades del sur de Nuevo León.

Diámetro normal (cm)	Diámetro cuadrático
5	5.33
10	10.65
15	15.98
20	21.31
25	26.64
30	31.96
35	37.29
40	42.62
45	47.94
50	53.27
55	58.60
60	63.92
65	69.25
70	74.58
75	79.91
80	85.23
85	90.56
90	95.89
95	101.21
100	106.54

4.5.1.2 Cálculo de la densidad

Para el cálculo de la densidad del arbolado para cada diámetro o categoría diamétrica, se utilizó la guía de densidad para *Pinus rudis* Endl. elaborada por Alonso (1996) para ello, por medio del cálculo de diámetro cuadrático se aplicó el modelo generado en esta misma guía, el cual fue:

$$\text{Log } N = 5.046158 + (-1.544113 \text{ Log } Dq)$$

Dónde:

N = número de árboles por hectárea

Dq= Diámetro cuadrático por clase de edad

Por ejemplo, para calcular el número de árboles por hectárea para la categoría diamétrica de 25

$$\text{Log } N = 5.046158 + ((-1.544113) \text{ Log } 26.64)$$

$$\text{Log } N = 5.046158 + (-1.544113 * 1.425453516)$$

$$\text{Log } N = 5.046158 + (-2.201061306)$$

$$\text{Log } N = 2.845096694$$

$$N = 700 \text{ árboles por hectárea}$$

Cabe resaltar que este modelo proporciona la densidad máxima, es decir la densidad a un 100% establecida como la "Línea A" o la línea de máxima densidad de la Guía.

Por medio de este modelo se procedió a obtener la densidad a un 90 %, la cual se tomó como referencia para la elaboración de la tabla de producción en el presente trabajo, para ello se procedió a despejar del modelo el valor de B_0 para indicar la tendencia o línea de densidad al porcentaje mencionado anteriormente, procedimiento que se realizó de la siguiente manera

Si se tiene que el 100% de la densidad son 843 árboles por hectárea, se procederá al calcular el 90% de la densidad:

$$100\% \text{ -----} > 700$$

$$90\% \text{ -----} X$$

$$X = 90 * 700 / 100 = 630$$

Ahora, como ya se sabe el número de árboles a una densidad del 90% los que prosigue es el cálculo del valor de B_0 , conservando su misma pendiente, tomando así el modelo general la siguiente forma:

$$\text{Log } (630) = (-1.544113 \text{ Log } Dq) + B_0$$

Al realizar el despeje el intercepto queda de la siguiente forma:

$$\text{Log } (630) = ((-1.544113) \text{ Log } 26.64) + B_0$$

$$\text{Log } (630) = (-1.544113 * 1.425453516) + B_0$$

$$\text{Log } 630 = -2.201061306 + B_0$$

$$B_0 = \text{Log } 630 + 2.120261565$$

$$B_0 = 2.799339204 + 2.120261565$$

$$B_0 = 5.000400509$$

En el Cuadro 12 se muestran los valores de densidad media máxima, densidad al 100 % y densidad al 90 % con su respectivo diámetro normal y diámetro cuadrático.

Cuadro 12. Valores de densidad media máxima, densidad al 100% y densidad al 90% en *Pinus rudis* Endl. para tres localidades del sur de Nuevo León.

Diámetro normal	Diámetro cuadrático	Densidad Media Máxima	Densidad 100%	Densidad 90%
5	5.33	5635	8402	7562
10	10.65	1932	2881	2593
15	15.98	1033	1540	1386
20	21.31	663	988	889
25	26.64	469	700	630
30	31.96	354	528	475
35	37.29	279	416	375
40	42.62	227	339	305
45	47.94	189	282	254
50	53.27	161	240	216
55	58.60	139	207	186
60	63.92	121	181	163
65	69.25	107	160	144
70	74.58	96	143	128
75	79.91	86	128	116
80	85.23	78	116	105
85	90.56	71	106	95
90	95.89	65	97	87
95	101.21	60	89	80
100	106.54	55	82	74

4.5.2 Determinación del diámetro en base a la altura

La determinación del diámetro se estimó en base en la altura, pues esta variable marca la variación en cada uno de los índices de sitio, por ser la medida base de cada uno de ellos, al estar en función de la altura y la altura estimarla en función de la edad, se puede asegurar que esta variable predicha (diámetro) se encuentra en función tanto de la edad como de la altura. Esta estimación se realizó mediante el ajuste de pares de datos obtenidos en campo por modelos de regresión (Cuadro 4). El modelo de mejor ajuste para diámetro en función de la altura resultó ser el modelo lineal 3 (Figura 10), mismo que destacó por tener un coeficiente de determinación ajustado de 0.9066 considerado el mejor respecto a los otros modelos utilizados para el mismo fin (Cuadro 13).

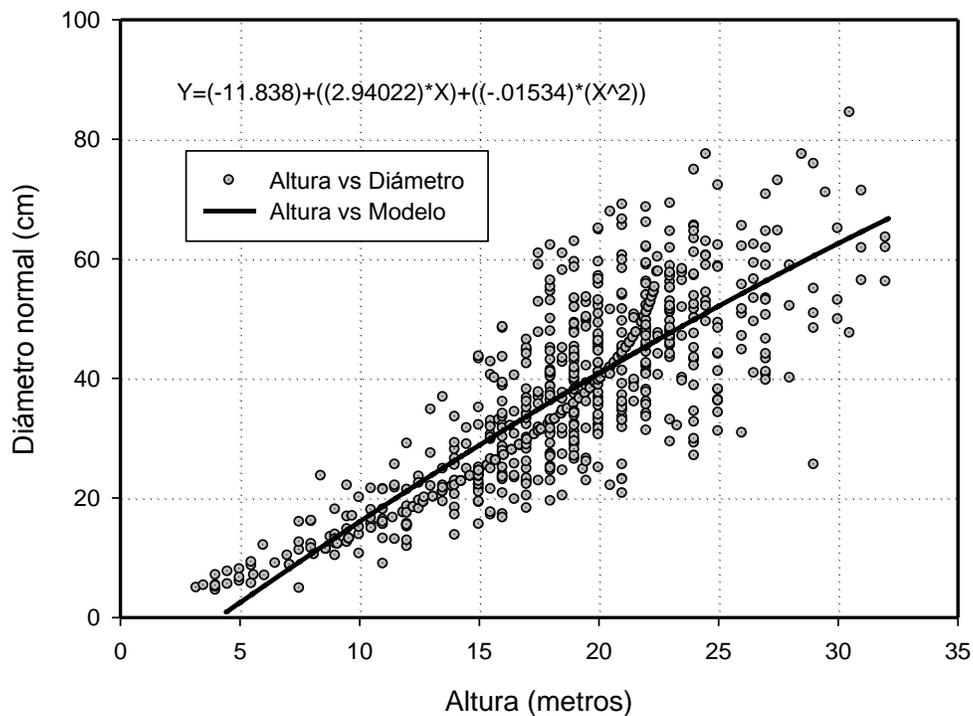


Figura 10. Predicción de diámetro normal en función de la altura en rodales de *Pinus rudis* Endl. en tres localidades del sur de Nuevo León.

Cuadro 13. Parámetros estadísticos de los modelos analizados y su calificación para la determinación del diámetro en base a la altura para rodales de densidad completa de *Pinus rudis* Endl en tres localidades del sur de Nuevo León.

Modelo	CME	Valor	CV	Valor	R2 ajustada	Valor	a	b	c	Residuales	Valor	Suma
Y=A+B(X)	567615.5	3	2056.79	3	0.9061	4	-7.63457	2.40714		-3.10E-06	3	13
Y=A+B(X ²)	563654.0	2	2049.60	2	0.8905	5	12.78670	0.06532		3.58E-07	4	13
Y=A+B(X)+C(X ²)	378504.7	1	1679.57	1	0.9066	3	-11.83843	2.94022	-0.01534	7.60E-11	5	10
Schumacher	568104.3	5	2057.68	5	0.9080	1	4.85978	-22.70860		1.35E+02	2	13
Nauslund	568037.2	4	2057.56	4	0.9077	2	1.84765	0.06424		-4.25E+01	1	11

CME= cuadrados medios del error; SCE = Suma de cuadrados del Error; CV= coeficiente de variación (%); R²_{aj} = coeficiente de determinación ajustado; A, B, C = Parámetros estadísticos del modelo; Valor = calificación respecto a los modelos presentados; SUMA = sumatoria de la calificación para cada modelo ajustado.

4.6 Tabla de producción

Se elaboró una tabla de producción correspondiente para cada índice de sitio, que van desde 11.4 y hasta 29.4.

Para lo cual, y una vez estimado el índice de sitio en función de la edad se procedió a estimar el diámetro normal en función de la altura para cada índice de sitio para posteriormente en función del diámetro normal obtener el diámetro cuadrático el cual nos servirá para el cálculo de la densidad (número de árboles por hectárea) a una densidad del 90% de la guía de densidad; con estas variables calculadas, (Diámetro normal, altura total y número de árboles por hectárea) por índice de sitio, se procedió a realizar tabulaciones categorizadas en base a la edad, mismas que inician a partir de los 20 años de edad, en las cuales se calculó el volumen por hectárea por medio de la ayuda de la tabla de volumen realizada por la SARH (1985) y el área basal por hectárea.

Para cada índice de sitio se realizaron las tabulaciones mencionadas anteriormente, así mismo para el índice de sitio promedio (20.4) se realizó una simulación de aplicación de remociones a diferentes edades, la cual comenzó a los 20 años de la edad del rodal con 2 preaclareos a cada 5 años y a partir de los 30 años se realizaron aclareos a cada 10 años, hasta llegar al turno que fue a la edad de 70 años; para aplicar la corta de regeneración, se dejó una densidad residual aproximada de 30 árboles por hectárea. A la edad de 80 años se aplicó la última corta, siendo esta la corta de liberación para dar por terminadas las intervenciones del arbolado.

Las tablas de producción para el presente trabajo están en base a los parámetros estimados de Numero de Arboles por hectárea, Area basal por hectárea y Volumen por hectárea de cada índice de sitio, siendo este el producto que se espera de un rodal o un bosque.

4.6.1 Número de árboles por hectárea por clase de edad

En cuanto al número de árboles por hectárea (Figura 11 y 12) se observa que la densidad que presenta cada índice de sitio respecto a la edad, el mayor número de árboles se concentra en los índices de sitio menores, y conforme incrementa la edad, este número de árboles disminuye hasta llegar a una tendencia de horizontalidad de las líneas y se comienza a estabilizar a una edad aproximada de 80 años para la mayoría de los sitios con una alta productividad.

Aguirre (1991) obtuvo similares resultados en su trabajo sobre *Pinus pseudostrobus*, al momento de la predicción de número de árboles en los diferentes índices de sitio que presentó. Sus resultados fueron que en las tapas iniciales se presenta una reducción fuerte en el número de árboles principalmente en las calidades de sitio media y alta. Conforme aumenta la edad se observó que todas las curvas tienden a la horizontalidad. Por otra parte Franco (1997) en su tabla de producción con un índice de sitio promedio de 15.6 m los valores de número de árboles a la edad de 25 años fue de 2526 y en el caso del presente trabajo a un índice de sitio de 20.5 se estimó una densidad de 2511 árboles por hectárea. Asimismo a la edad mayor para el trabajo de Franco (1997) 110 años presenta un número de árboles por hectárea de 76 a mientras que en el presente trabajo que se observa un número de árboles en el índice de sitio promedio (20.5) de 231 árboles por hectárea a una edad de 110 años. El hecho de que el número de árboles por hectárea sea menor no significa esto que es una condición de calidad de sitio mala, al contrario de esto, estos árboles presentan una mayor altura así como un mayor desarrollo de área de copa y por lo consiguiente mayor área basal por individuo. Por su parte Sánchez *et al.*, (2003) obtuvieron a una densidad media e índice de sitio de 21 m y edad de 20 años un número de árboles de 1044 árboles por hectárea para *Pinus radiata*.

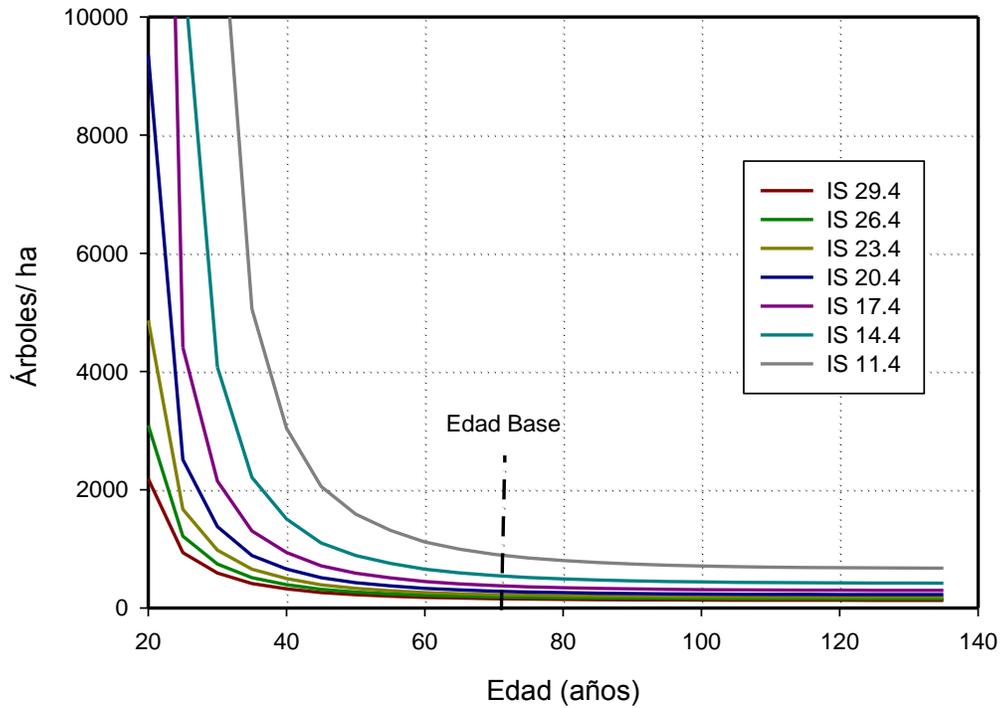


Figura 11. Número de árboles por hectárea para cada índice de sitio en rodales de *Pinus rudis* Endl. en tres localidades del sur de Nuevo León.

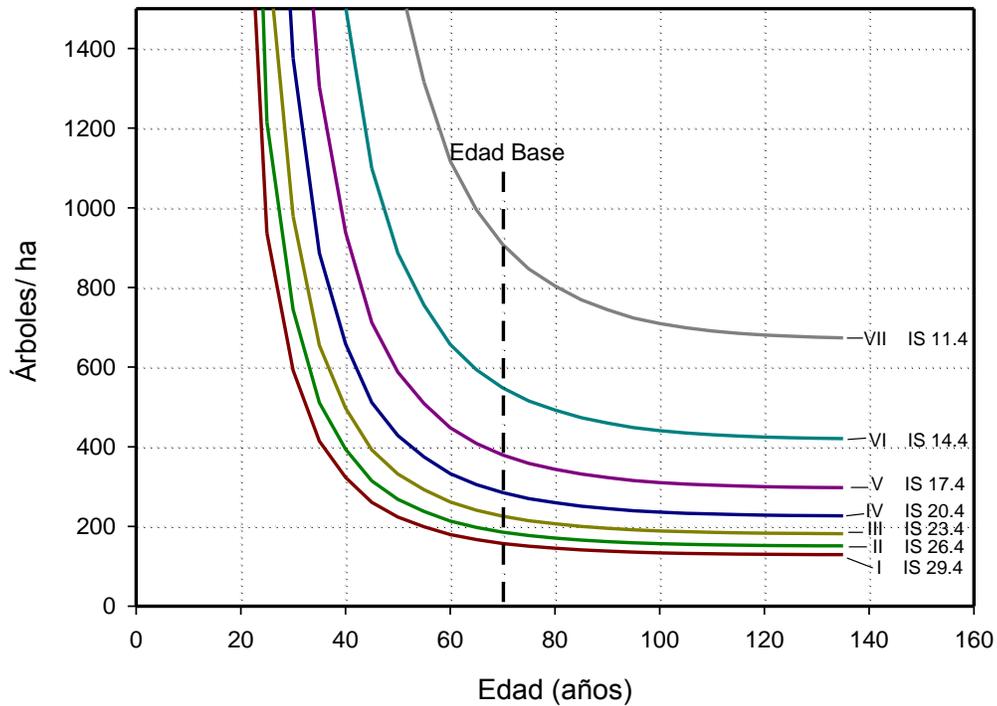


Figura 12. Número de árboles por hectárea para cada índice de sitio en rodales de *Pinus rudis* Endl. en tres localidades del sur de Nuevo León.

4.6.2 Area basal por hectárea por clase de edad e índice de sitio

En las calidades de sitio inferiores (Figura 13) (V a VII) el área basal no aumenta de manera significativa, puesto que como se observa la gráfica de número de árboles por índice de sitio (Figuras 11 y 12), la densidad en estas calidades de sitio es mucho mayor que en las calidades de sitio superiores, las cuales su número de árboles es menor pero de un diámetro y altura mayores. Este ritmo de crecimiento del área basal se ve disminuido sustancialmente a la edad de 70 años, edad del turno absoluto.

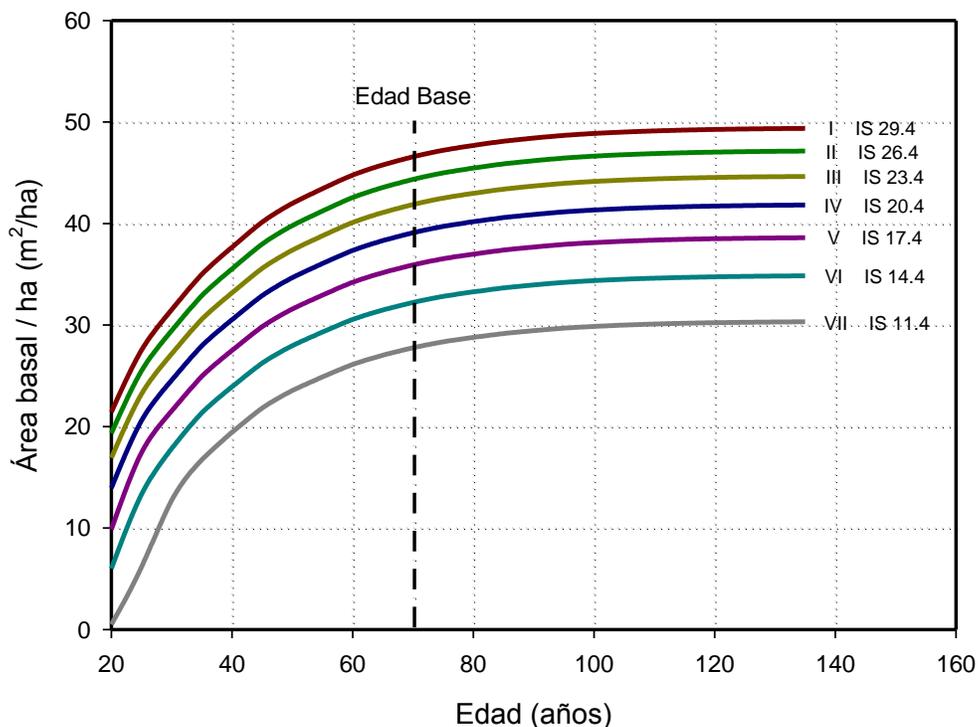


Figura 13. Área basal por hectárea en los diferentes índices de sitio para rodales de densidad completa en *Pinus rudis* Endl. en tres localidades del sur de Nuevo León.

Estas razones obedecen a lo mencionado por Hawley y Smith (1972) en relación a que es probable que el crecimiento del área basal se reduzca si una masa se hace excesivamente densa. Sin embargo, dentro de los amplios límites de la densidad de espesura que se encuentra de ordinario en masas bien

administradas, el crecimiento del área basal tiende a permanecer óptimo con independencia de la densidad de la masa. Así mismo estos autores mencionaron que las relaciones entre el incremento y el espacio de crecimiento para un solo árbol pueden considerarse de modo más sencillo en términos de los que hay entre la superficie de copas y el crecimiento del área basal.

Por otro lado Daniel *et al.* (1982) indican que a medida que el número de árboles por hectárea aumenta, el área basal aumentara con cada árbol, sumando al total una cantidad igual de área basal hasta el momento en que los árboles empiezan a competir entre sí. Una vez que se inicia la competencia entre los individuos y se intensifica al aumentar el número de estos, la suma de las áreas basales será mayor, pero el área basal individual disminuirá, finalmente, cuando el número de árboles sea excesivo, la suma de las áreas basales disminuirá, lo que también ocurre al área basal promedio individual. Indicando aquí el comienzo de la competencia entre los individuos localizados dentro de los sitios.

Franco (1997) expuso resultados similares en forma tabular observándose que el área basal por hectárea aumenta hasta cierto punto (en su caso a los 100 años) y a partir de esta edad disminuye considerablemente.

Sin embargo, estas condiciones no fueron encontradas por Aguirre (1991), en su caso, en todos los índices de sitio el área basal tiende a aumentar y en ningún punto esta declina o tiende a disminuir, en dicho trabajo los resultados en cuanto al área basal se mostró que sus curvas tienen un crecimiento casi paralelo.

4.6.3 Volumen por hectárea por clase de edad e índice de sitio

El aumento de volumen más notable se presentó a partir de los 20 años hasta los 70 años, a partir de esta edad tiende a aumentar pero en menor proporción, esta tendencia se observa más claramente en los índices de sitio de mejor calidad como lo son de la calidad I, II y III, a partir de esta edad las curvas que describen el volumen por hectárea tienden a la horizontalidad, haciéndose ver claramente que es necesaria la intervención silvícola a estas edades.

Por otra parte los índices de sitio de menor calidad (V, VI y VII) su incremento en volumen es mínimo, como se puede observar más claramente en la clase de calidad VII donde apenas se muestra un incremento de aproximadamente 100 metros cúbicos de volumen (Figura 14).

Aguirre (1991) obtuvo resultados muy similares a los encontrados en el presente trabajo, dado que el volumen por hectárea aumenta claramente hasta la edad de 100 años. También encontró que para una misma edad del rodal, la diferencia en volumen entre curvas es más grande cuanto mayor es el índice de sitio.

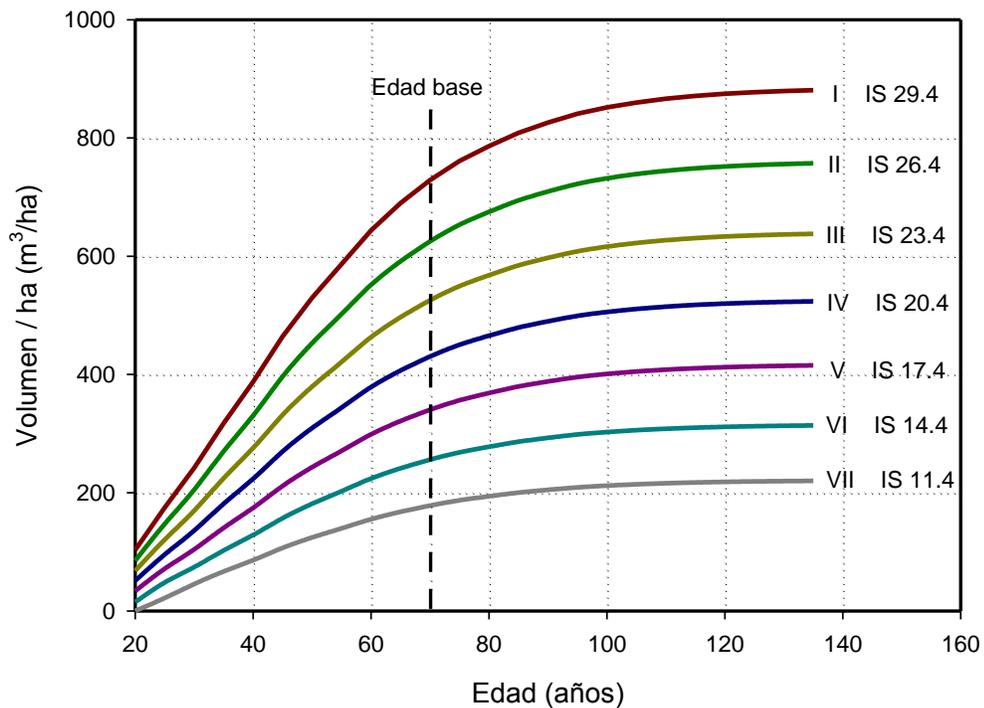


Figura 14. Volumen por hectárea (m^3/ha) en cada uno de los índices de sitio para rodales de densidad completa de *Pinus rudis* Endl. para tres localidades al sur de Nuevo León.

4.7 Tabla de producción para el índice de sitio promedio y densidad máxima del 90%

La tabla de producción se realizó en base a la categorización de la edad, y una densidad permanente de 90%, se comenzó a la edad de 20 años que es cuando se tiene un alto grado de densidad y además que es posible obtener cierto beneficio al momento de la aplicación de la remoción, pues en esta etapa el rodal se encuentra a un diámetro normal promedio de 4.6 cm y una altura de 5.68 metros, la corta de regeneración se recomienda hacerla a la edad de 70 años para así obtener diámetros de 41.79 cm y una altura de 21.4 metros que es cuando se espera cosechar el máximo de productividad que un rodal bajo estas condiciones.

Los tratamientos que se plantea aplicar a lo largo del manejo del rodal son 2 preaclareos, a la edad de 20 y 25 años, a partir de la edad de 30 años se plantean intervenciones a cada 10 años aplicando un total de 4 aclareos hasta la edad de 60 años, y a la edad de 70 años que fue el donde se encontró el turno absoluto se plantea la corta de regeneración para 10 años después de esta, aplicar la corta de liberación.

Todos los tratamientos mencionados anteriormente se aplicaron de tal modo que después de su recuperación el rodal quede con la densidad de 90% asumiendo que no exista pérdida de individuos ya sea por remoción a causa de clandestinaje, presencia de plagas o enfermedades o incendios que pudieran eliminar individuos.

En el Cuadro 14 y Figuras 15 y 16 se pueden observar las diferentes aplicaciones de los tratamientos mencionados anteriormente, así como las condiciones residuales y originales que se espera obtener, además de esto la producción en área basal por hectárea y en volumen por hectárea.

Cuadro 14. Tabla de producción para *Pinus rudis* Endl. a un índice de sitio de 20.4 y densidad del 90% para 3 localidades del sur de Nuevo León.

Condición Original							Remoción			Condición Residual				Producción total	
Edad (años)	Árbs/ha ¹	Densidad (%) ¹	DN (cm) ¹	Altura (m) ¹	AB (m ² /ha) ¹	Vol. (m ³ /ha) ¹	Árbs/ha ²	AB (m ² /ha) ²	Vol. (m ³ /ha) ²	Árbs/ha ³	AB (m ² /ha) ³	Vol. (m ³ /ha) ³	Densidad (%) ³	AB (m ² /ha)	Vol. (m ³ /ha)
0	9356	90	4.4	5.7	13.9	51.2	6845	10.2	37.4	2511	3.7	13.7	24	13.9	51.2
25	2511	90	10.2	7.8	20.6	95.3	1135	9.3	43.1	1375	11.3	52.2	49	30.8	132.7
30	1375	90	15.1	9.6	24.6	135.8	716	12.8	70.8	659	11.8	65.1	43	44.1	216.4
40	659	90	24.3	13.2	30.5	223.5	231	10.7	78.3	428	19.8	145.3	58	62.8	374.8
50	428	90	32.1	16.3	34.7	309.3	96	7.7	69.1	333	26.9	240.3	70	77.6	538.9
60	333	90	37.8	18.7	37.3	378.6	48	5.3	54.2	285	32.0	324.4	77	88.1	677.3
70	285	90	41.8	20.4	39.1	430.3	255	35.0	385.0	30	4.1	45.3	9	95.2	783.2
80	30		44.4	21.5	4.6	53.8	30	4.6	53.8	0	0.0	0.0	0	95.7	791.6

1= En condición original; 2 = En remoción; 3 = En condición residual.

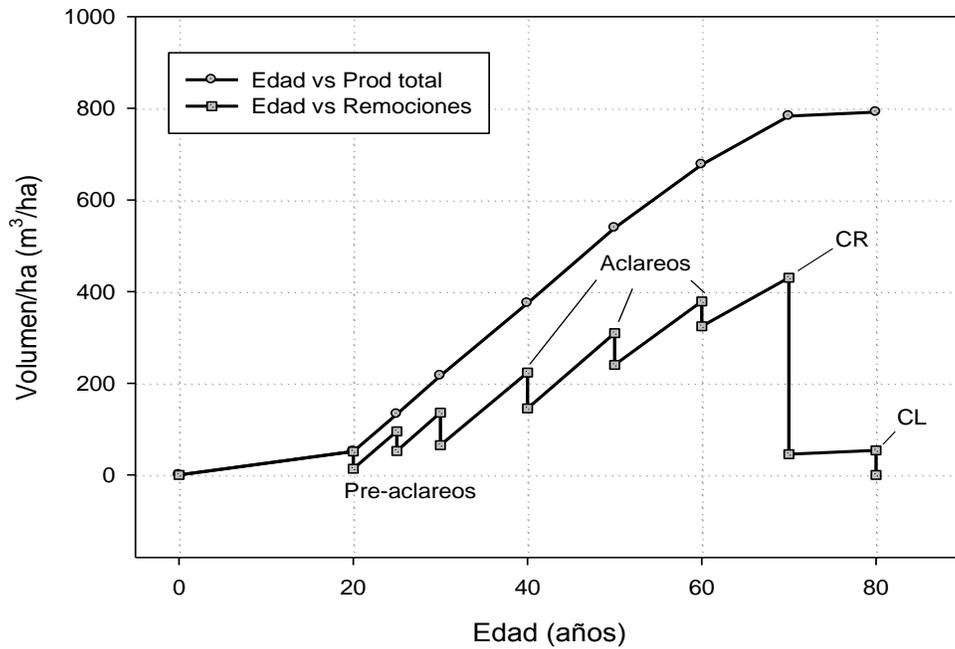


Figura 15. Remociones y producción total en volumen por hectárea para un índice de sitio promedio de 20.4 y densidad del 90% de *Pinus rudis* Endl. del sur de Nuevo León.

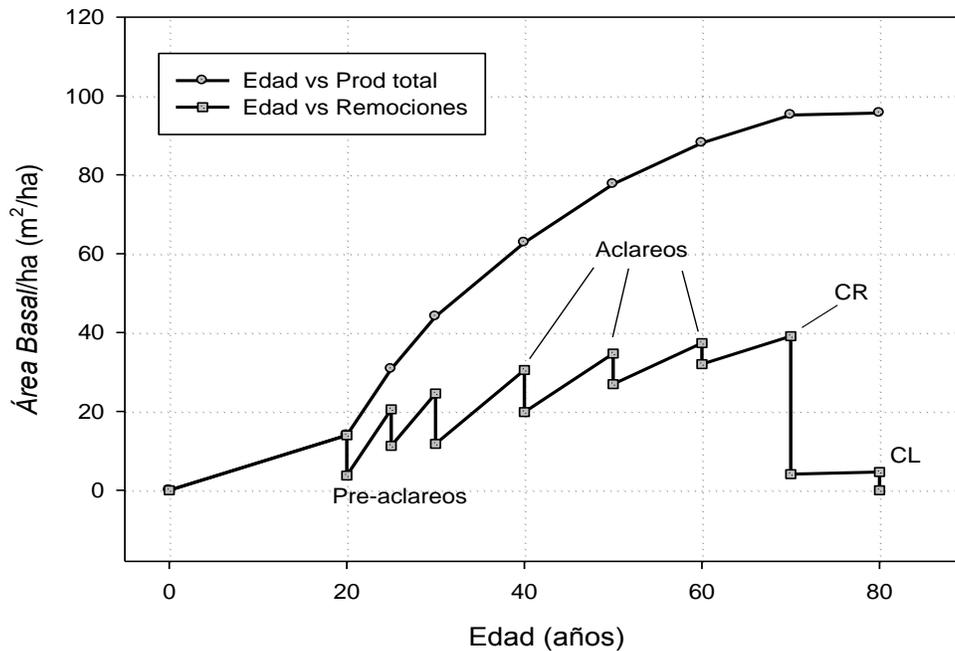


Figura 16. Remociones y producción total en área basal por hectárea para un índice de sitio promedio de 20.4 y densidad del 90% de *Pinus rudis* Endl. del sur de Nuevo León.

Como se puede observar la remoción que se aplicó con mayor intensidad fue a los 70 años pues a esta edad se removi6 el 91 % de la densidad total, a esta corta se removi6 un volumen total de 385 m³ y un 6rea basal de 35 m², as6 como 255 6rboles por hect6rea, a esta edad en el rodal se encuentran aproximadamente di6metros promedio de 41.8 cm con una altura aproximada de 21.4 metros. Independiente de la corta de regeneraci6n una de las cortas m6s severas en cuanto a volumen extra6do se realiz6 a la edad de 40 a6os, en esta intervenci6n se extrajeron 78 m³ en aproximadamente 231 6rboles por hect6rea, sin embargo el aclareo con mayor remoci6n sucedi6 a la edad de 30 a6os, edad en la que se extrajo una 6rea basal por hect6rea de 12.8 m² en aproximadamente 716 6rboles por hect6rea. Por otro lado, la remoci6n en volumen con menor intensidad (excluyendo la corta de liberaci6n) se realiz6 a la edad de 20 a6os, edad en la que el volumen no es muy significativo aun a pesar de extraer un gran n6mero de 6rboles por hect6rea (6845), a esta edad las dimensiones promedio del rodal se encuentran en un di6metro de 4.4 con una altura aproximada de 5.7 metros, as6 mismo la remoci6n con menor intensidad en 6rea basal excluyendo la corta de liberaci6n se realiz6 a la edad de 60 a6os, edad en la que a pesar los arboles cuentan con un di6metro promedio de 37.8 cm la remoci6n que se aplico fue poca, en la cual se extrajeron 48 6rboles por hect6rea.

La producci6n total por hect6rea en todo el turno considerado asciende a 791.6 metros c6bicos de volumen por hect6rea y 95.7 metros cuadrados por hect6rea de 6rea basal.

Estos resultados difieren ampliamente a los reportados por Franco (1997), ya que su valor de producci6n total para el 6ndice de sitio promedio de 15.4 metros ascendi6 a 617.7 metros c6bicos por hect6rea, mientras que en este trabajo se obtuvo un volumen total de 791.6 metros c6bicos por hect6rea; sin embargo estos resultados presentan algo de similitud a los reportados por Aguirre (1991) para *Pinus pseudostrobus*, donde en el 6ndice de sitio de 21 metros a la edad de 65 a6os obtuvo un volumen de producci6n total de 809 metros c6bicos.

Por otro lado estos resultados son semejantes con lo obtenido por Sánchez *et al*, (2003) para un índice de sitio de 21 metros y una condición de densidad intermedia ya que reportaron un volumen de 799.5 metros cúbicos para *Pinus radiata*; mientras que para el grado de densidad máxima y el mismo índice de sitio obtuvo un volumen total de 803.1 metros cúbicos, mientras que para una condición de densidad más pobre obtiene un volumen de 604.5 metros cúbicos. Esta producción mencionada anteriormente se logró para la especie a una edad de 45 años; Lo anterior debido a que se trata de especies de rápido crecimiento.

Los diferentes resultados obtenidos por los autores mencionados anteriormente y los mismos resultados obtenidos en el presente trabajo, tienen que ver principalmente con el objetivo planteado para el manejo de los rodales, y de las diferentes especies, así mismo como el conocer las posibles dimensiones, área basal por hectárea, volumen por hectárea y número de individuos que se presentan a las diferentes edades. Las diferentes intensidades y ciclos de corta se podrán modificar de acuerdo a los criterios del manejador de bosques.

V. CONCLUSIONES

El uso de datos de sitios temporales resulta ser una alternativa adecuada para la elaboración de tablas de producción en base a los índices de sitio, así como para conocer los patrones de productividad de la especie tratada.

Con la elaboración del presente trabajo se puede facilitar el manejo de los bosques de la especie tratada, manipulando la misma tabla de acuerdo a los diferentes objetivos que pretenda el manejador dentro del bosque.

Con la amplia gama de índices de sitio obtenidos para la especie con la que se trabajó, se facilita la aplicación de la misma tabla de producción en una región más amplia.

Con los datos obtenidos del muestreo temporal es posible determinar el turno absoluto, así como los diferentes índices.

La tabla de producción presentada al ser considerada como una herramienta de manejo silvícola, nos proporciona datos de la producción que se pueden obtener de los rodales en los que se localiza *Pinus rudis* a las diferentes edades de la misma, así como las posibles densidades y dimensiones de los individuos.

La aplicación de la presente metodología para la elaboración de las tablas de producción resulta muy útil y adecuada, pues con los datos obtenidos de un muestreo para manejo forestal, se puede recabar la suficiente información para la elaboración de dichas tablas de producción, teniendo como único inconveniente el cálculo de la densidad, pues para esto es necesario sitios de densidad completa, mismos que en la actualidad es muy difícil localizarlos.

Considerando la productividad de los rodales obtenidos en la tabla de producción, se podrán tomar las decisiones que el manejador de los recursos considere necesarios, ya sea con las densidades a utilizar, los diferentes tratamientos a aplicar y principalmente los diferentes objetivos del manejo que se pretenda realizar en el bosque, contribuyendo con esto a el manejo adecuado de los recursos, y la obtención de mejores productos del bosque.

La estimación de las diferentes variables dasométricas de un árbol, puede resultar adecuada a través del diámetro del tocón, ya que presentan una alta correlación entre las variables de diámetro normal, altura total, obteniendo así existencias que fueron removidas en años anteriores, pero que para diferentes estudios es necesario conocer las dimensiones que tenían estos individuos.

Con los resultados presentados en la tabla de producción para *Pinus rudis* Endl. se puede orientar a los manejadores de recursos forestales mediante el uso de estas herramientas.

La producción total estimada en la presente tabla de producción está basada en la aplicación de las diferentes intervenciones silvícolas aquí mencionadas, por ende esta se puede modificar de acuerdo a los objetivos de cada uno de los manejadores silvícolas.

VI. RECOMENDACIONES

Al no existir sitios permanentes de muestreo o poder realizar análisis troncales, es recomendable la utilización de los sitios temporales de muestreo para este tipo de estudios.

La elaboración de tablas de producción es una herramienta que debería de ser utilizadas en todas las áreas bajo manejo forestal, por lo cual es ampliamente recomendable la elaboración de las mismas por el método propuesto, ya que la información utilizada para tal efecto puede ser recabada en inventarios de manejo forestal.

Se recomienda usar los índices de sitio en las diferentes áreas de estudio para la correcta aplicación de las prescripciones silvícolas a las diferentes edades de la especie de *Pinus rudis* Endl., en bosques del Estado de Nuevo León.

La estimación de los diferentes parámetros dasométricos a partir del diámetro del tocón puede resultar muy útil para la estimación de árboles o remociones en años anteriores, por lo tanto es altamente recomendado utilizar los modelos generados en el presente trabajo para estos fines, sin embargo se tendrá que realizar la validación de cada una de las ecuaciones y parámetros correspondientes y presentados en el presente trabajo.

Al tener los diferentes valores de índice de sitio así como los parámetros estimadores de la densidad, es recomendable usarlos para hacer simulaciones de manejo forestal, esto para tener una idea de los posibles cambios y mejorías que se puedan tener en los índices de sitio de calidad inferior, al mismo tiempo de tratar de mejorarlos con ciertas prescripciones silvícolas.

Es recomendable hacer una comprobación de la misma tabla de producción, ya sea con una estimación real o existente dentro de cada una de las áreas de estudio y su índice de sitio correspondiente, esto para tener más certeza a la hora de aplicación y en lo posible hacer las recomendaciones convenientes.

Al aplicar la presente tabla de producción, se debe de tener especial cuidado en el manejo de la densidad, pues como se observó en los resultados una densidad excesiva hace tener arboles con diámetros menores, cosa que al momento de extraer los productos estos serán de mala calidad o menores a los esperados, para lo cual es recomendable tener especial cuidado al momento de manejar estos parámetros del bosque.

Es importante mencionar que en el presente trabajo se proporciona la información suficiente para en dado caso, el manejador de los recursos pueda manipular la tabla de producción a sus objetivos o metas de producción para los rodales que elija manejar, así como las diferentes densidades y valores dasométricos esperados.

VII. LITERATURA CITADA

- Aguirre C., O. A. 1991. Elaboración de tablas de producción en base a sitios temporales de muestreo. Un ejemplo con *Pinus pseudostrobus* Lindl., en el noreste de México. Linares, Nuevo León. Investigación Agraria, Sistemas y Recursos Forestales. 0(5): 43 p.
- Aguirre C., O. A. 2013. Modelización del crecimiento de *Pinus teocote* Schltdl. et Cham., en el noreste de México. Revista mexicana de ciencias forestales. 4 (17): 28-41.
- Aguirre C., O. A. y Kramer, H .1990. Observaciones sobre el crecimiento de los bosques en el mundo. Reporte Científico No. 17. Facultad de Ciencias Forestales, UANL, 37 p.
- Alder D. 1980. Estimación del volumen forestal y predicción del rendimiento, con referencia especial a los trópicos Vol. 2. Predicción del rendimiento. FAO-Montes. 2(22): 118 p.
- Alonso G., L. 1996. Guía de densidad para *Pinus rudis* Endl. En Arteaga, Coahuila. Tesis profesional. Departamento Forestal. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. 66 p.
- Bautista M., J. L. 2001. Crecimiento e incremento en altura, diámetro, área basal y volumen de la regeneración de *Pinus rudis* Endl. en la Sierra las Alazanas, Arteaga Coah. Tesis profesional. Departamento Forestal. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. 70 p.

- Barrena A., V. J. Dancé C., D. Sáenz Y. 1986. Metodología Para la Selección de Ecuaciones de Volumen. Revista Forestal del Perú. 13 (2). 1-10.
- Benavides S., J. D. y H. Manzanilla B. 1993. Estimación de la "calidad de sitio" mediante "índices de sitio" de *Pinus michoacana* Martínez y *Pinus oocarpa* Schiede, para el A.D.F. Tapalpa, Estado de Jalisco. Ciencia Forestal de México. 18: 121-138.
- Calvillo G., J. C. 2003. Estudio epidométrico para *Pinus herrerae* Mtz., en la región de Cd. Hidalgo, Michoacán. Tesis profesional. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Buenavista, Saltillo, Coahuila. 80 p.
- Cano C., J. 1988. El sistema de manejo regular de los bosques de México. Fundamentos de silvicultura y su aplicación práctica. Universidad Autónoma de Chapingo. Chapingo, México. 221p.
- Clutter J., L., C. Forston L., V. Pienaar y G. H. Brister. 1983. Timber Management: a quantitative approach. Wiley and Sons. New York. USA. 333 p.
- Contreras D., C. 2007. Geografía de Nuevo León. Fondo editorial de Nuevo León. Monterrey, Nuevo León. 229 p.
- Corral R., S. y J. J. Nívar C. 2005. Análisis del crecimiento e incremento de cinco Pináceas de los bosques de Durango, México. Madera y Bosques. 11(001):29-47.
- Cornejo O., E.H., J. Pereyra G., O. Mares A., S. Valencia M. y C. Flores L. 2005. Índice de sitio para *Pinus montezumae* Lamb. En la región de CD. Hidalgo, Michoacán. Fitotecnia mexicana, 28 (03): 213-219.

- Daniel, T. W., J. A. Helms y F. S. Backer. 1982. Principios de silvicultura. Ramón Elizondo M. (traducción). 2ª ed. Editor McGraw - Hill. México, D.F. 492 p.
- Daubenmire R., F. 1990. Ecología vegetal. Tratado de autoecología de plantas. Tercera edición. Editorial Limusa, S.A. de C.V. México. D.F. 517 p.
- De la Fuente E. A., A. Martínez V., J. Torres R., H. Maldonado R., C. Rodríguez F. 1998. Predicción del crecimiento y rendimiento de *Pinus rudis* Endl., en pueblos mancomunados, Ixtlán, Oaxaca. Revista mexicana de ciencias forestales. 23(84):3-8.
- De los Santos P. H. M., W. Santiago G., G. Ángeles P., J. Valdez L. y G. Ramírez V. 2013. Sistema compatible de crecimiento y rendimiento para rodales coetáneos de *Pinus pátula*. Revista fitotecnia mexicana. 36(2): 163-172.
- Eguiluz P T., 1982. Clima y distribución del genero *Pinus* en México. Revista Mexicana De Ciencias Forestales. 7(38): 30-44.
- Equihua Z. M. y B. G., Benítez. 1990. Dinámica de las comunidades ecológicas. Ed. Trillas. México. 120 p.
- FAO. 2008. Planificación e implementación del manejo forestal al nivel operacional en Centro América. Documento de trabajo sobre ordenación forestal FM/34; Servicio de Desarrollo de Recursos Forestales; Dirección de Ordenación Forestal. FAO, Roma. 93 p.
- Franco A., R. C. 1997. Tabla de producción para *Pinus rudis* Endl. En Arteaga, Coahuila. Tesis Profesional. Departamento Forestal. Universidad

Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila, Mexico.103 p.

García, E. CONABIO.1998.'Climas' clasificación de Köppen, modificado por García. Escala 1:1000000. México. Disponible en: <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/layouts/clima1mgw.png>

García P., R. 2012. Programa de cortas intermedias para conducir un bosque de *Pinus rudis* Endl., hacia una condición futura deseada en Arteaga, Coahuila. Tesis Profesional. Departamento Forestal. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. 97 p.

Hawley R., D. Smith. 1972. Silvicultura Práctica. Editor OMEGA. 544 p.

Hernández R., A. 2012. Determinación de Turno e Índice de Sitio para *Pinus montezumae* Lamb., en el Sureste del Estado de Hidalgo. Tesis Profesional. Departamento Forestal. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. 62 p.

Hocker Jr. 1984. Introducción a la Biología Forestal. Ed. A.G.T. México. D.F. 287 p.

Husch, B.M., C.I. Miller y T.W. Beers. 1982. Forest mensuration. Wiley. New York. 410 p.

INEGI. 2001. Diccionario de datos edafológicos. Escala 1:250,000.

INEGI. 2014. Página del Instituto Nacional de Estadística y Geografía. “Simulador de Flujos de Agua de Cuencas Hidrográficas (SIATL)”. Recuperado el 15 de Noviembre de 2014 de <http://www.inegi.org.mx>

- INIFAP-CONABIO.1995. 'Edafología'. Escalas 1:250000 y 1:1000000. México.
- Klepac, D. 1976. Crecimiento e incremento de árboles y masas forestales. Ed. E.N.A. UACH. México. 365 p.
- Madrigal H. S., J. Moreno C. I. Vázquez C. 2004. Comportamiento de dos métodos de la predicción y representación gráfica del índice de sitio. Revista Ciencia Forestal en México. 29(95):23-41.
- Magaña T. O. S., J. Torres R., C. Rodríguez F., H. Aguirre D y A. Fierros G. 2008. Predicción de la producción y rendimiento de *Pinus rudis* Endl., en Aloápan, Oaxaca. Madera y Bosques.14 (1): 5-19.
- Mares A., O. 2003. Índice de sitio para *Pinus herrerae* Martínez en la región de Cd. Hidalgo, Michoacán. Tesis Profesional. Departamento Forestal. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. 85 p.
- Martínez M. 1948. Los Pinos de México. Segunda edición. Ediciones, Botas. 361 p.
- Monroy R., C. R. 1997. Evaluación de crecimiento y productividad de *Pinus pátula* Schl. et Cham., en la región de Huayacocotla, Veracruz, México. Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma de Nuevo León. Linares Nuevo León. 120 p.
- Morales M., E. 2003. Caracterización dasométrica y productividad de los bosques del predio El Pilar, Municipio de Arteaga, Coahuila, México. Tesis Profesional. Departamento Forestal. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. 60 p.

- Pereyra G., J. A. 2003. Estudio epidométrico e índice de sitio para *Pinus montezumae* Lamb., en la región de Cd. Hidalgo, Michoacán. Tesis Profesional. Departamento Forestal. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. 130 p.
- Perry P., J. 1991. The pines of México and Central América. Timber Press, Inc. Portland, Oregon, E. U. 231 p.
- Pritchett W.L. 1986. Suelos forestales. Propiedades, conservación, mejoramiento. Editorial Limusa. México. 634 p.
- Prodan M., R. Peters., F. Cox y P. Real. 1997. Mensura Forestal. GTZ. GMBH. IICA. Costa Rica. 586 p.
- Eguiluz P T., 1982. Clima y distribución del genero *Pinus* en México. Revista Mexicana De Ciencias Forestales. 7(38): 30-44.
- Quiñonez B G., F. Cruz C., B. Vargas L. y F. Hernández. 2012. Estimación del diámetro, altura, y volumen a partir del tocón para especies forestales de Durango. Revista Mexicana De Ciencias Forestales. 3 (9) 23-41.
- Rivero B. D.P. y E. M. Zepeda B. 1990. Principios básicos de regulación forestal. Universidad Autónoma de Chapingo. División de Ciencias Forestales. Serie de apoyo académico núm. 42. 262 p.
- Sánchez F., R. Rodríguez., A. Rojo., J. Álvarez., C. López., J. Gorgoso y F. Castedo. 2003. Crecimiento y tablas de producción de *Pinus radiata* D. Don en Galicia. Investigación Agraria, Sistemas y Recursos Forestales. 12(2):65-83.

- SARH. 1985. Inventario Forestal del Estado de Nuevo León. Publicación especial No. 52. México D.F. 71 p.
- SARH. 1985. Normas mínimas de calidad para la formulación de estudios dasonómicos en bosques. Dirección General de Aprovechamientos Forestales, México, D. F. 298 p.
- Spurr H., S. 1952. Forest Inventory. Ronald Press. New York. 476 p.
- Spurr H., S. y B. V. Barnes. 1982. Ecología forestal. Editor A. G. T, México, D.F. 690 p.
- Torres R., J. M. y O. S Magaña T. 2001. Evaluación de plantaciones forestales. Primera edición. Editorial Limusa, México, D.F. 427 p.
- Vargas L B., J. Álvarez G., J. Corral R., y O. Aguirre C. 2010. Construcción de curvas dinámicas de índice de sitio para *Pinus cooperi* Blanco. Revista Fitotecnia Mexicana. 33(4): 343-351.
- Vargas L., B. 1999. Caracterización de la productividad y estructura de *Pinus hartwegii* Lindl., en tres gradientes altitudinales en el cerro El Potosí, Galeana, Nuevo León. Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma de Nuevo León. Linares Nuevo León. 93 p.
- Zepeda B., E. M. y M. C. P. Rivero B. 1984. Construcción de curvas de índice de sitio: ejemplificación del método de la curva guía. Ciencia forestal 9(3):38.
- Zúñiga H., J. V. 2013. Índice de sitio para tres especies de *Pinus* en plantaciones mixtas, Miahuatlán Oaxaca. Tesis Profesional. Departamento Forestal.

Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo,
Coahuila, México. 58 p.

VIII. ANEXOS

Anexo 1: Formato para datos de densidad en el rodal

PREDIO _____ MPIO. _____ RODAL _____ SITIO _____ PEND. _____ COORD: X _____ Y: _____ DATUM: _____ EXP: (N) (S) (E) (W) (O)					
CD	N° ARBS	ALTURA	EDAD	ICA (mm)	TP
5					
10					
15					
20					
25					
30					
35					
40					
45					
50					
55					
60					
65					
70					
75					
80					
85					
90					
95					
100					

Anexo 2. Formato de campo para toma de variables dasométricas

PREDIO _____ MPIO. _____ RODAL _____ SITIO _____ PEND. _____ COORD: X _____ Y: _____ DATUM: _____ EXP: (N) (S) (E) (W) (O)				
N° DE ARBOL	DN (cm)	DIAMETRO DE COPA		ALTURA TOTAL (m)
		DIAM MEN (m)	DIAM MAY (m)	

Anexo 3. Valores de los parámetros estadísticos de los modelos analizados y su calificación para la estimación de diámetro normal a partir del tocón para *Pinus rudis* Endl. en tres localidades del sur de Nuevo León.

Modelo	CME	Valor	CV	Valor	R ² ajustada	Valor	a	b	c	Residuales	Valor	Suma
Y=A+B(X)	374853.3	3	1890.25	3	0.9971	2	-1.43402	0.85954		1.35E-07	3	11
Y=A+B(X ²)	369761.9	2	1877.37	2	0.9808	3	13.35016	0.00985		-3.21E+01	2	9
Y=A+B(X)+C(X ²)	249906.7	1	1543.40	1	0.9971	1	-1.93154	0.89113	-0.00039	-1.51E+01	1	4

CME= cuadrados medios del error; CV= coeficiente de variación (%); R²_{aj} = coeficiente de determinación ajustado; a, b, c = Valor del parámetro estadístico del modelo; Valor = calificación respecto a los modelos presentados; SUMA = sumatoria de la calificación para cada modelo ajustado.

Anexo 4. Valores de los parámetros estadísticos de los modelos analizados y su calificación para la estimación de la altura a partir del tocón para *Pinus rudis* Endl. en tres localidades del sur de Nuevo León.

Modelo	CME	Valor	CV	Valor	R ² ajustada	Valor	a	b	c	Residuales	Valor	Suma
Y=A+B(X)	82541.81	3	1760.42	3	0.9233	3	5.88536	0.26535		4.53E-06	3	12
Y=A+B(X ²)	80924.02	2	1743.08	2	0.8698	2	10.93596	0.00279		9.18E+03	2	8
Y=A+B(X)+C(X ²)	55608.79	1	1444.95	1	0.9486	1	0.25794	0.62267	-0.00436	1.93E-05	1	4

CME= cuadrados medios del error; CV= coeficiente de variación (%); R²_{aj} = coeficiente de determinación ajustado; a, b, c = Valor del parámetro estadístico del modelo; Valor = calificación respecto a los modelos presentados; SUMA = sumatoria de la calificación para cada modelo ajustado.

Anexo 5. Valores de los parámetros estadísticos de los modelos analizados y su calificación para la estimación de la edad a partir del tocón para *Pinus rudis* Endl. en tres localidades del sur de Nuevo León.

Modelo	CME	Valor	CV	Valor	R ² ajustada	Valor	a	b	c	Residuales	Valor	Suma
Y=A+B(X)	950151.7	4	1801.10	4	0.9038	3	11.50455	1.08294		-3.69E-06	5	16
Y=A+B(X ²)	933409.1	2	1785.16	2	0.8725	5	31.02182	0.01194		-3.61E-06	4	13
Y=A+B(X)+C(X ²)	635512.9	1	1473.01	1	0.9093	1	0.86012	1.75883	-0.00825	8.71E-05	3	6
Schumacher	949218.8	3	1800.22	3	0.9022	4	4.72445	-24.50506		-3.10E+02	2	12
Nauslund	952423.9	5	1803.26	5	0.9079	2	1.81535	0.08444		-1.39E+02	1	13

CME= cuadrados medios del error; CV= coeficiente de variación (%); R²_{aj} = coeficiente de determinación ajustado; a, b, c = Valor del parámetro estadístico del modelo; Valor = calificación respecto a los modelos presentados; SUMA = sumatoria de la calificación para cada modelo ajustado.

Anexo 6. Tabla de producción para una densidad del 90% e índice de sitio 29.4 para *Pinus rudis* en tres localidades del sur de Nuevo León.

Edad	Altura	DN	Dq	Árbs/ha	AB	Vol.	AB/ha	Vol./ha
20	8.2	11.2	11.91	2182	0.0098	0.0472	21.4296	103.0588
25	11.3	19.3	20.6	937	0.0294	0.1864	27.5076	174.5888
30	13.9	26.0	27.74	592	0.0533	0.4089	31.5056	241.8658
35	16.6	32.8	34.94	414	0.0845	0.7662	34.9986	317.4185
40	19.0	38.5	41.04	323	0.1165	1.1994	37.6616	387.6130
45	21.5	44.3	47.18	261	0.1540	1.7810	40.1322	464.1406
50	23.5	48.9	52.08	224	0.1876	2.3672	41.9813	529.6114
55	25.3	52.7	56.12	199	0.2179	2.9431	43.4367	586.6716
60	27.0	56.3	59.97	180	0.2489	3.5783	44.7724	643.7527
65	28.3	59.1	62.95	167	0.2742	4.1306	45.7708	689.6206
70	29.4	61.4	65.39	157	0.2959	4.6283	46.5726	728.5813
75	30.3	63.2	67.38	150	0.3141	5.0640	47.2129	761.1332
80	31.0	64.6	68.87	145	0.3282	5.4109	47.6880	786.1505
85	31.7	65.9	70.19	141	0.3409	5.7310	48.1025	808.6084
90	32.1	66.8	71.19	138	0.3507	5.9827	48.4139	825.8702
95	32.6	67.6	72.05	136	0.3592	6.2049	48.6791	840.8452
100	32.9	68.2	72.66	134	0.3653	6.3670	48.8671	851.6164
105	33.1	68.6	73.13	132	0.3701	6.4936	49.0109	859.9466
110	33.3	69.0	73.49	131	0.3737	6.5912	49.1201	866.3211
115	33.4	69.2	73.76	131	0.3765	6.6656	49.2022	871.1498
120	33.5	69.4	73.96	130	0.3785	6.7216	49.2636	874.7720
125	33.6	69.6	74.11	130	0.3801	6.7634	49.3090	877.4635
130	33.6	69.7	74.22	129	0.3812	6.7942	49.3424	879.4453
135	33.7	69.7	74.3	129	0.3820	6.8167	49.3667	880.8915

Dn = Diámetro normal; Dq = Diámetro cuadrático; Árbs/ha = Número de árboles por hectárea; AB = Área basal individual; Vol. = Volumen individual; AB/ha = Área basal por hectárea; Vol. /ha = Volumen por hectárea.

Anexo 7. Tabla de producción para una densidad del 90% e índice de sitio 26.4 para *Pinus rudis* en tres localidades del sur de Nuevo León.

Edad	Altura	Dn	Dq	Árbs/ha	AB	Vol.	AB/ha	Vol./ha
20	7.34	8.93	9.5	3089	0.0063	0.0276	19.3395	85.2357
25	10.12	16.34	17.4	1215	0.0210	0.1209	25.4717	146.9519
30	12.47	22.45	23.9	744	0.0396	0.2754	29.4440	204.8640
35	14.93	28.63	30.5	511	0.0644	0.5283	32.8978	269.9186
40	17.07	33.89	36.1	394	0.0902	0.8390	35.5267	330.4074
45	19.30	39.21	41.8	314	0.1207	1.2605	37.9660	396.4160
50	21.14	43.46	46.3	268	0.1484	1.6889	39.7936	452.9417
55	22.70	46.99	50.1	238	0.1734	2.1124	41.2340	502.2474
60	24.21	50.36	53.7	214	0.1992	2.5821	42.5580	551.6102
65	25.41	52.97	56.4	198	0.2204	2.9925	43.5493	591.3046
70	26.41	55.12	58.7	186	0.2387	3.3637	44.3466	625.0415
75	27.24	56.88	60.6	177	0.2541	3.6896	44.9841	653.2431
80	27.87	58.20	62.0	171	0.2660	3.9497	45.4576	674.9260
85	28.44	59.37	63.2	166	0.2768	4.1902	45.8713	694.3971
90	28.87	60.25	64.2	162	0.2851	4.3796	46.1822	709.3675
95	29.24	61.01	65.0	159	0.2924	4.5471	46.4472	722.3576
100	29.50	61.56	65.6	157	0.2976	4.6693	46.6351	731.7028
105	29.71	61.97	66.0	155	0.3016	4.7649	46.7790	738.9312
110	29.87	62.29	66.4	154	0.3048	4.8387	46.8882	744.4632
115	29.98	62.53	66.6	153	0.3071	4.8949	46.9705	748.6540
120	30.07	62.71	66.8	152	0.3089	4.9372	47.0319	751.7979
125	30.14	62.84	67.0	152	0.3102	4.9688	47.0774	754.1341
130	30.19	62.94	67.1	151	0.3111	4.9921	47.1108	755.8543
135	30.22	63.01	67.1	151	0.3119	5.0092	47.1351	757.1096

Dn = Diámetro normal; Dq = Diámetro cuadrático; Árbs/ha = Número de árboles por hectárea; AB = Área basal individual; Vol. = Volumen individual; AB/ha = Área basal por hectárea; Vol. /ha = Volumen por hectárea.

Anexo 8. Tabla de producción para una densidad del 90% e índice de sitio 23.4 para *Pinus rudis* en tres localidades del sur de Nuevo León.

Edad	Altura	Dn	Dq	Árbs/ha	AB	Vol.	AB/ha	Vol./ha
20	6.51	6.65	7.09	4865	0.0035	0.0140	16.9123	68.0060
25	8.97	13.29	14.16	1671	0.0139	0.0721	23.1879	120.5041
30	11.06	18.79	20.02	979	0.0277	0.1732	27.1533	169.4839
35	13.23	24.38	25.97	655	0.0467	0.3428	30.5727	224.4786
40	15.13	29.15	31.05	497	0.0667	0.5545	33.1666	275.6399
45	17.11	33.98	36.21	392	0.0907	0.8454	35.5709	331.5150
50	18.74	37.87	40.35	332	0.1127	1.1437	37.3724	379.4050
55	20.12	41.10	43.79	292	0.1327	1.4408	38.7934	421.2110
60	21.46	44.20	47.10	261	0.1535	1.7723	40.1009	463.0967
65	22.53	46.61	49.66	241	0.1706	2.0634	41.0811	496.8015
70	23.41	48.60	51.77	226	0.1855	2.3277	41.8702	525.4640
75	24.15	50.22	53.50	215	0.1981	2.5605	42.5019	549.4352
80	24.71	51.44	54.81	207	0.2079	2.7468	42.9715	567.8726
85	25.21	52.53	55.96	200	0.2167	2.9194	43.3820	584.4347
90	25.59	53.35	56.84	195	0.2236	3.0556	43.6908	597.1719
95	25.92	54.06	57.59	192	0.2295	3.1761	43.9541	608.2266
100	26.15	54.56	58.13	189	0.2338	3.2642	44.1410	616.1809
105	26.33	54.95	58.55	187	0.2372	3.3331	44.2840	622.3342
110	26.47	55.25	58.86	185	0.2397	3.3863	44.3927	627.0439
115	26.58	55.47	59.10	184	0.2417	3.4269	44.4745	630.6121
120	26.66	55.64	59.28	183	0.2431	3.4575	44.5357	633.2890
125	26.72	55.76	59.41	183	0.2442	3.4803	44.5809	635.2783
130	26.76	55.86	59.51	182	0.2450	3.4972	44.6142	636.7431
135	26.79	55.92	59.58	182	0.2456	3.5095	44.6384	637.8120

Dn = Diámetro normal; Dq = Diámetro cuadrático; Árbs/ha = Número de árboles por hectárea; AB = Área basal individual; Vol. = Volumen individual; AB/ha = Área basal por hectárea; Vol. /ha = Volumen por hectárea.

Anexo 9. Tabla de producción para una densidad del 90% e índice de sitio 20.4 para *Pinus rudis* en tres localidades del sur de Nuevo León.

Edad	Altura	Dn	Dq	Árbs/ha	AB	Vol.	AB/ha	Vol./ha
20	5.68	4.36	4.64	9356	0.0015	0.0055	13.9433	51.1682
25	7.82	10.21	10.88	2511	0.0082	0.0380	20.5604	95.2839
30	9.64	15.08	16.07	1375	0.0179	0.0988	24.5592	135.8395
35	11.54	20.04	21.35	886	0.0315	0.2045	27.9586	181.2761
40	13.20	24.29	25.88	659	0.0463	0.3394	30.5207	223.5416
45	14.92	28.61	30.49	511	0.0643	0.5274	32.8886	269.7261
50	16.34	32.11	34.21	428	0.0810	0.7225	34.6609	309.3395
55	17.54	35.01	37.30	374	0.0963	0.9185	36.0586	343.9448
60	18.71	37.81	40.29	333	0.1123	1.1386	37.3452	378.6399
65	19.64	39.99	42.61	305	0.1256	1.3330	38.3103	406.5763
70	20.41	41.79	44.52	285	0.1372	1.5102	39.0878	430.3460
75	21.05	43.27	46.10	270	0.1470	1.6669	39.7106	450.2341
80	21.54	44.38	47.28	260	0.1547	1.7927	40.1739	465.5367
85	21.98	45.37	48.34	251	0.1617	1.9094	40.5792	479.2869
90	22.31	46.12	49.14	245	0.1671	2.0017	40.8841	489.8642
95	22.60	46.77	49.83	240	0.1718	2.0835	41.1443	499.0463
100	22.80	47.23	50.32	236	0.1752	2.1434	41.3289	505.6543
105	22.96	47.58	50.70	233	0.1778	2.1902	41.4704	510.7667
110	23.08	47.85	50.98	231	0.1799	2.2264	41.5778	514.6801
115	23.17	48.06	51.20	230	0.1814	2.2541	41.6587	517.6452
120	23.24	48.21	51.37	229	0.1826	2.2749	41.7192	519.8698
125	23.29	48.33	51.49	228	0.1834	2.2904	41.7640	521.5230
130	23.33	48.41	51.58	227	0.1841	2.3019	41.7969	522.7404
135	23.36	48.47	51.64	227	0.1845	2.3103	41.8208	523.6288

Dn = Diámetro normal; Dq = Diámetro cuadrático; Árbs/ha = Número de árboles por hectárea; AB = Área basal individual; Vol. = Volumen individual; AB/ha = Área basal por hectárea; Vol. /ha = Volumen por hectárea.

Anexo 10. Tabla de producción para una densidad del 90% e índice de sitio 17.4 para *Pinus rudis* en tres localidades del sur de Nuevo León.

Edad	Altura	Dn	Dq	Árbs/ha	AB	Vol.	AB/ha	Vol./ha
20	4.84	2.04	2.17	30228	0.0003	0.0011	9.8625	33.8448
25	6.67	7.09	7.55	4411	0.0039	0.0162	17.4085	71.2521
30	8.22	11.30	12.04	2146	0.0100	0.0485	21.5342	104.0314
35	9.84	15.61	16.63	1304	0.0191	0.1078	24.9498	140.5042
40	11.26	19.31	20.58	938	0.0293	0.1858	27.4930	174.3765
45	12.73	23.10	24.61	712	0.0419	0.2969	29.8291	211.3859
50	13.94	26.16	27.87	587	0.0538	0.4140	31.5718	243.1426
55	14.96	28.72	30.60	509	0.0648	0.5327	32.9442	270.8993
60	15.96	31.19	33.23	448	0.0764	0.6673	34.2066	298.7443
65	16.75	33.11	35.28	408	0.0861	0.7869	35.1533	321.1774
70	17.41	34.71	36.98	380	0.0946	0.8966	35.9162	340.2738
75	17.96	36.02	38.38	358	0.1019	0.9939	36.5274	356.2583
80	18.38	37.01	39.43	344	0.1076	1.0722	36.9822	368.5615
85	18.75	37.89	40.37	332	0.1128	1.1452	37.3801	379.6196
90	19.03	38.56	41.08	323	0.1168	1.2029	37.6796	388.1281
95	19.27	39.14	41.70	315	0.1203	1.2542	37.9351	395.5156
100	19.45	39.55	42.13	310	0.1228	1.2918	38.1166	400.8329
105	19.59	39.86	42.47	306	0.1248	1.3212	38.2556	404.9473
110	19.69	40.11	42.73	304	0.1263	1.3440	38.3611	408.0969
115	19.77	40.29	42.92	302	0.1275	1.3613	38.4407	410.4835
120	19.83	40.43	43.07	300	0.1284	1.3745	38.5001	412.2742
125	19.87	40.53	43.18	299	0.1290	1.3842	38.5441	413.6050
130	19.90	40.60	43.26	298	0.1295	1.3915	38.5765	414.5849
135	19.93	40.66	43.32	297	0.1298	1.3968	38.6000	415.3001

Dn = Diámetro normal; Dq = Diámetro cuadrático; Árbs/ha = Número de árboles por hectárea; AB = Área basal individual; Vol. = Volumen individual; AB/ha = Área basal por hectárea; Vol. /ha = Volumen por hectárea.

Anexo 11. Tabla de producción para una densidad del 90% e índice de sitio 14.4 para *Pinus rudis* en tres localidades del sur de Nuevo León.

Edad	Altura	Dn	Dq	Árbs/ha	AB	Vol.	AB/ha	Vol./ha
20	4.01	-0.30	.	.	.	.	.	.
25	5.52	3.93	4.18	10989	0.0012	0.0044	13.2964	48.0246
30	6.81	7.46	7.95	4074	0.0044	0.0182	17.8226	74.0658
35	8.15	11.09	11.82	2209	0.0097	0.0463	21.3519	102.3422
40	9.32	14.22	15.15	1505	0.0159	0.0853	23.9146	128.4331
45	10.53	17.43	18.57	1099	0.0239	0.1427	26.2383	156.8837
50	11.54	20.04	21.35	886	0.0315	0.2045	27.9591	181.2841
55	12.38	22.22	23.68	756	0.0388	0.2681	29.3087	202.6130
60	13.21	24.33	25.93	657	0.0465	0.3411	30.5471	224.0161
65	13.87	25.98	27.68	594	0.0530	0.4065	31.4743	241.2659
70	14.41	27.36	29.14	548	0.0588	0.4669	32.2209	255.9552
75	14.87	28.48	30.34	515	0.0637	0.5208	32.8187	268.2549
80	15.21	29.33	31.25	492	0.0676	0.5643	33.2634	277.7244
85	15.52	30.09	32.06	473	0.0711	0.6049	33.6524	286.2377
90	15.75	30.67	32.68	459	0.0739	0.6372	33.9452	292.7895
95	15.95	31.17	33.21	448	0.0763	0.6659	34.1950	298.4790
100	16.10	31.52	33.58	440	0.0780	0.6870	34.3724	302.5747
105	16.21	31.80	33.88	435	0.0794	0.7035	34.5082	305.7441
110	16.30	32.01	34.10	430	0.0805	0.7163	34.6114	308.1705
115	16.36	32.16	34.27	427	0.0812	0.7261	34.6892	310.0093
120	16.41	32.28	34.39	425	0.0818	0.7335	34.7473	311.3889
125	16.45	32.37	34.49	423	0.0823	0.7390	34.7903	312.4143
130	16.47	32.43	34.56	421	0.0826	0.7430	34.8219	313.1694
135	16.49	32.48	34.61	421	0.0829	0.7460	34.8450	313.7205

Dn = Diámetro normal; Dq = Diámetro cuadrático; Árbs/ha = Número de árboles por hectárea; AB = Área basal individual; Vol. = Volumen individual; AB/ha = Área basal por hectárea; Vol. /ha = Volumen por hectárea.

Anexo 12. Tabla de producción para una densidad del 90% e índice de sitio 11.4 para *Pinus rudis* en tres localidades del sur de Nuevo León.

Edad	Altura	Dn	Dq	Árbs/ha	AB	Vol.	AB/ha	Vol./ha
20	3.17	-2.66	-2.84	.	.	.	.	.
25	4.37	0.72	0.77	150333	0.0000	0.0001	6.1420	21.8627
30	5.39	3.56	3.80	12758	0.0010	0.0036	12.7230	45.3762
35	6.45	6.49	6.91	5057	0.0033	0.0132	16.7204	66.7856
40	7.38	9.02	9.61	3041	0.0064	0.0283	19.4296	85.9439
45	8.34	11.62	12.38	2056	0.0106	0.0519	21.8096	106.6293
50	9.14	13.74	14.64	1587	0.0148	0.0783	23.5408	124.2997
55	9.81	15.52	16.54	1315	0.0189	0.1062	24.8850	139.7217
60	10.46	17.25	18.38	1118	0.0234	0.1389	26.1104	155.1870
65	10.98	18.60	19.81	995	0.0272	0.1685	27.0237	167.6483
70	11.41	19.72	21.01	908	0.0306	0.1962	27.7569	178.2598
75	11.77	20.65	22.00	846	0.0335	0.2211	28.3429	187.1456
80	12.04	21.35	22.75	804	0.0358	0.2413	28.7782	193.9876
85	12.29	21.97	23.41	769	0.0379	0.2603	29.1585	200.1393
90	12.47	22.45	23.92	744	0.0396	0.2754	29.4446	204.8741
95	12.63	22.86	24.35	723	0.0410	0.2889	29.6886	208.9862
100	12.75	23.15	24.67	709	0.0421	0.2988	29.8617	211.9466
105	12.84	23.38	24.91	699	0.0429	0.3066	29.9943	214.2376
110	12.91	23.55	25.09	691	0.0436	0.3127	30.0950	215.9917
115	12.96	23.68	25.23	685	0.0440	0.3173	30.1709	217.3209
120	13.00	23.78	25.33	681	0.0444	0.3208	30.2275	218.3183
125	13.02	23.85	25.41	677	0.0447	0.3234	30.2695	219.0596
130	13.04	23.91	25.47	675	0.0449	0.3253	30.3003	219.6055
135	13.06	23.94	25.51	673	0.0450	0.3267	30.3228	220.0039

Dn = Diámetro normal; Dq = Diámetro cuadrático; Árbs/ha = Número de árboles por hectárea; AB = Área basal individual; Vol. = Volumen individual; AB/ha = Área basal por hectárea; Vol. /ha = Volumen por hectárea.

Anexo 13. Incrementos en altura en un índice de sitio de 20.4m para *Pinus rudis* en tres localidades del sur de Nuevo León.

Edad	IMA	ICA
5	0.139919351	0.207503061
10	0.205302653	0.30575276
15	0.251063257	0.362776643
20	0.283800582	0.391600778
25	0.306561749	0.399145801
30	0.321323495	0.390622238
35	0.329601334	0.370403895
40	0.332651422	0.342231126
45	0.331547597	0.309251989
50	0.327214067	0.274034746
55	0.320441823	0.238590607
60	0.311899679	0.204415224
65	0.302144194	0.172546615
70	0.291629961	0.143633577
75	0.280720548	0.118008196
80	0.269699829	0.095756914
85	0.25878332	0.076786015
90	0.248129108	0.06087885
95	0.237848036	0.047743483
100	0.228012928	0.037050482

IMA= Incremento Medio Anual (metros); ICA= Incremento Corriente Anual (metros).

Anexo 14. Incrementos en diámetro en un índice de sitio de 20.4m para *Pinus rudis* en tres localidades del sur de Nuevo León.

Edad	IMA	ICA
5	0.06798291	0.12584863
10	0.1420217	0.27621472
15	0.21602212	0.42118126
20	0.28726829	0.5518189
25	0.35371165	0.66142736
30	0.41374908	0.7452786
35	0.46619374	0.80070392
40	0.51027465	0.82710747
45	0.54562805	0.82582483
50	0.57227029	0.79982743
55	0.59055187	0.75330856
60	0.60109634	0.69120444
65	0.60472985	0.61870801
70	0.60240786	0.54082849
75	0.59514508	0.462037
80	0.58395358	0.38602228
85	0.56979248	0.31556299
90	0.55353103	0.25250799
95	0.53592512	0.1978445
100	0.51760627	0.15182772

IMA= Incremento Medio Anual (cm); ICA= Incremento Corriente Anual (cm).

Anexo 15. Análisis de varianza para el modelo de Schumacher con las variables Edad-Altura para *Pinus rudis* en tres localidades del sur de Nuevo León.

FV	GL	SC	CM	F-Valor	Pr > F
Modelo	2	269274	134637	13674.3	<.0001
Error	756	7443.6	9.846		
Total no correcto	758	276717			

FV= Fuente de variación; GL= Grados de libertad; SC= Suma de cuadrados; CM= Cuadrados medios; F-Valor= F calculada; Pr>F= Probabilidad de F calculada.

Anexo 16. Análisis de varianza para el modelo de Gompertz con las variables Edad-Altura para *Pinus rudis* en tres localidades del sur de Nuevo León.

FV	GL	SC	CM	F-Valor	Pr > F
Modelo	2	266230	133115	9595.92	<.0001
Error	756	10487.3	13.8721		
Total no correcto	758	276717			

FV= Fuente de variación; GL= Grados de libertad; SC= Suma de cuadrados; CM= Cuadrados medios; F-Valor= F calculada; Pr>F= Probabilidad de F calculada.

Anexo 17. Análisis de varianza para el modelo de Logístico con las variables Edad-Altura para *Pinus rudis* en tres localidades del sur de Nuevo León.

FV	GL	SC	CM	F-Valor	Pr > F
Modelo	3	269328	89775.9	9172.21	<.0001
Error	755	7389.8	9.7878		
Total no correcto	758	276717			

FV= Fuente de variación; GL= Grados de libertad; SC= Suma de cuadrados; CM= Cuadrados medios; F-Valor= F calculada; Pr>F= Probabilidad de F calculada.

Anexo 18. Análisis de varianza para el modelo de Exponencial con las variables Edad-Altura para *Pinus rudis* en tres localidades del sur de Nuevo León.

FV	GL	SC	CM	F-Valor	Pr > F
Modelo	2	266230	133115	9595.92	<.0001
Error	756	10487.3	13.8721		
Total no correcto	758	276717			

FV= Fuente de variación; GL= Grados de libertad; SC= Suma de cuadrados; CM= Cuadrados medios; F-Valor= F calculada; Pr>F= Probabilidad de F calculada.

Anexo 19. Análisis de varianza para el modelo de Husch con las variables Edad-Altura para para *Pinus rudis* en tres localidades del sur de Nuevo León.

FV	GL	SC	CM	F-Valor	Pr > F
Modelo	2	269274	134637	13674.3	<.0001
Error	756	7443.6	9.846		
Total no correcto	758	276717			

FV= Fuente de variación; GL= Grados de libertad; SC= Suma de cuadrados; CM= Cuadrados medios; F-Valor= F calculada; Pr>F= Probabilidad de F calculada.

Anexo 20. Análisis de varianza para el modelo de Nauslund con las variables Edad-Altura para para *Pinus rudis* en tres localidades del sur de Nuevo León.

FV	GL	SC	CM	F-Valor	Pr > F
Modelo	2	269070	134535	13298.8	<.0001
Error	756	7647.9	10.1163		
Total no correcto	758	276717			

FV= Fuente de variación; GL= Grados de libertad; SC= Suma de cuadrados; CM= Cuadrados medios; F-Valor= F calculada; Pr>F= Probabilidad de F calculada.

Anexo 21. Análisis de varianza para el modelo de Chapman-Richards con las variables Edad-Altura para para *Pinus rudis* en tres localidades del sur de Nuevo León.

FV	GL	SC	CM	F-Valor	Pr > F
Modelo	2	269381	89793.8	9241.37	<.0001
Error	756	7336	9.7165		
Total no correcto	758	276717			

FV= Fuente de variación; GL= Grados de libertad; SC= Suma de cuadrados; CM= Cuadrados medios; F-Valor= F calculada; Pr>F= Probabilidad de F calculada.

Anexo 22. Análisis de varianza para el modelo de Weibull con las variables Edad-
Altura para *Pinus rudis* en tres localidades del sur de Nuevo León.

FV	GL	SC	CM	F-Valor	Pr > F
Modelo	2	269373	89791.1	9230.72	<.0001
Error	756	7344.2	9.7274		
Total no correcto	758	276717			

FV= Fuente de variación; GL= Grados de libertad; SC= Suma de cuadrados; CM= Cuadrados medios; F-Valor= F calculada; Pr>F= Probabilidad de F calculada.

Anexo 23. Análisis de varianza para el modelo de Korf con las variables Edad-
Altura para *Pinus rudis* en tres localidades del sur de Nuevo León.

FV	GL	SC	CM	F-Valor	Pr > F
Modelo	2	269338	89779.2	9184.93	<.0001
Error	756	7379.8	9.7746		
Total no correcto	758	276717			

FV= Fuente de variación; GL= Grados de libertad; SC= Suma de cuadrados; CM= Cuadrados medios; F-Valor= F calculada; Pr>F= Probabilidad de F calculada.

Anexo 24. Análisis de varianza para el modelo Schumacher con las variables
Edad-Diámetro para *Pinus rudis* en tres localidades del sur de Nuevo
León.

FV	GL	SC	CM	F-Valor	Pr > F
Modelo	2	1129519	564759	6797.14	<.0001
Error	756	62814.4	83.0879		
Total no correcto	758	1192333			

FV= Fuente de variación; GL= Grados de libertad; SC= Suma de cuadrados; CM= Cuadrados medios; F-Valor= F calculada; Pr>F= Probabilidad de F calculada.

Anexo 25. Análisis de varianza para el modelo Gompertz con las variables Edad-Diámetro para *Pinus rudis* en tres localidades del sur de Nuevo León.

FV	GL	SC	CM	F-Valor	Pr > F
Modelo	2	1109231	554616	5045.46	<.0001
Error	756	83102.3	109.9		
Total no correcto	758	1192333			

FV= Fuente de variación; GL= Grados de libertad; SC= Suma de cuadrados; CM= Cuadrados medios; F-Valor= F calculada; Pr>F= Probabilidad de F calculada.

Anexo 26. Análisis de varianza para el modelo Logístico con las variables Edad-Diámetro para *Pinus rudis* en tres localidades del sur de Nuevo León.

FV	GL	SC	CM	F-Valor	Pr > F
Modelo	3	1075964	358655	2326.94	<.0001
Error	755	116369	154.1		
Total no correcto	758	1192333			

FV= Fuente de variación; GL= Grados de libertad; SC= Suma de cuadrados; CM= Cuadrados medios; F-Valor= F calculada; Pr>F= Probabilidad de F calculada.

Anexo 27. Análisis de varianza para el modelo Exponencial con las variables Edad-Diámetro para *Pinus rudis* en tres localidades del sur de Nuevo León.

FV	GL	SC	CM	F-Valor	Pr > F
Modelo	2	1109231	554616	5045.46	<.0001
Error	756	83102.3	109.9		
Total no correcto	758	1192333			

FV= Fuente de variación; GL= Grados de libertad; SC= Suma de cuadrados; CM= Cuadrados medios; F-Valor= F calculada; Pr>F= Probabilidad de F calculada.

Anexo 28. Análisis de varianza para el modelo Husch con las variables Edad-Diámetro para *Pinus rudis* en tres localidades del sur de Nuevo León.

FV	GL	SC	CM	F-Valor	Pr > F
Modelo	2	1129519	564759	6797.14	<.0001
Error	756	62814.4	83.0879		
Total no correcto	758	1192333			

FV= Fuente de variación; GL= Grados de libertad; SC= Suma de cuadrados; CM= Cuadrados medios; F-Valor= F calculada; Pr>F= Probabilidad de F calculada.

Anexo 29. Análisis de varianza para el modelo Nauslund con las variables Edad-Diámetro para *Pinus rudis* en tres localidades del sur de Nuevo León.

FV	GL	SC	CM	F-Valor	Pr > F
Modelo	2	1127648	563824	6589.59	<.0001
Error	756	64685.5	85.5628		
Total no correcto	758	1192333			

FV= Fuente de variación; GL= Grados de libertad; SC= Suma de cuadrados; CM= Cuadrados medios; F-Valor= F calculada; Pr>F= Probabilidad de F calculada.

Anexo 30. Análisis de varianza para el modelo Chapman-Richards con las variables Edad-Diámetro para *Pinus rudis* en tres localidades del sur de Nuevo León.

FV	GL	SC	CM	F-Valor	Pr > F
Modelo	2	159.6	79.7947	0.34	0.7089
Error	756	175044	231.8		
Total no correcto	758	175204			

FV= Fuente de variación; GL= Grados de libertad; SC= Suma de cuadrados; CM= Cuadrados medios; F-Valor= F calculada; Pr>F= Probabilidad de F calculada.

Anexo 31. Análisis de varianza para el modelo Weibull con las variables Edad-Diámetro para *Pinus rudis* en tres localidades del sur de Nuevo León.

FV	GL	SC	CM	F-Valor	Pr > F
Modelo	3	1130899	376966	4632.71	<.0001
Error	755	61434.8	81.3706		
Total no correcto	758	1192333			

FV= Fuente de variación; GL= Grados de libertad; SC= Suma de cuadrados; CM= Cuadrados medios; F-Valor= F calculada; Pr>F= Probabilidad de F calculada.

Anexo 32. Análisis de varianza para el modelo Korf con las variables Edad-Diámetro para *Pinus rudis* en tres localidades del sur de Nuevo León.

FV	GL	SC	CM	F-Valor	Pr > F
Modelo	3	1025909	341970	1551.38	<.0001
Error	755	166424	220.4		
Total no correcto	758	1192333			

FV= Fuente de variación; GL= Grados de libertad; SC= Suma de cuadrados; CM= Cuadrados medios; F-Valor= F calculada; Pr>F= Probabilidad de F calculada.

Anexo 33. Análisis de varianza para el modelo lineal 1 con las variables Diámetro de la base-Diámetro normal para *Pinus rudis* en tres localidades del sur de Nuevo León.

FV	SC	GL	CM	F-valor	Pr>F
Regression	749706.6	2.0000	374853.3	110548.8	0.00
Residual	1898.9	560.0000	3.4		
Total	751605.5	562.0000			
Corrected Total	161873.6	561.0000			
Regression vs. Corrected Total	749706.6	2.0000	374853.3	1299.1	0.00

FV= Fuente de variación; GL= Grados de libertad; SC= Suma de cuadrados; CM= Cuadrados medios; F-Valor= F calculada; Pr>F= Probabilidad de F calculada.

Anexo 34. Análisis de varianza para el modelo lineal 2 con las variables Diámetro de la base-Diámetro normal para *Pinus rudis* en tres localidades del sur de Nuevo León.

FV	SC	GL	CM	F-valor	Pr>F
Regression	739523.8	2.0000	369761.9	17138.94	0.00
Residual	12081.7	560.0000	21.6		
Total	751605.5	562.0000			
Corrected Total	161873.6	561.0000			
Regression vs. Corrected Total	739523.8	2.0000	369761.9	1281.47	0.00

FV= Fuente de variación; GL= Grados de libertad; SC= Suma de cuadrados; CM= Cuadrados medios; F-Valor= F calculada; Pr>F= Probabilidad de F calculada.

Anexo 35. Análisis de varianza para el modelo lineal3 con las variables Diámetro de la base-Diámetro normal para *Pinus rudis* en tres localidades del sur de Nuevo León.

FV	SC	GL	CM	F-valor	Pr>F
Regression	749720.2	3.0000	249906.7	74100.50	0.00
Residual	1885.2	559.0000	3.4		
Total	751605.5	562.0000			
Corrected Total	161873.6	561.0000			
Regression vs. Corrected Total	749720.2	3.0000	249906.7	866.09	0.00

FV= Fuente de variación; GL= Grados de libertad; SC= Suma de cuadrados; CM= Cuadrados medios; F-Valor= F calculada; Pr>F= Probabilidad de F calculada.

Anexo 36. Análisis de varianza para el modelo lineal 1 con las variables Diámetro de la base-Altura para *Pinus rudis* en tres localidades del sur de Nuevo León.

FV	SC	GL	CM	F-valor	Pr>F
Regression	165083.6	2.0000	82541.81	8062.532	0.00
Residual	5733.1	560.0000	10.24		
Total	170816.7	562.0000			
Corrected Total	20979.2	561.0000			
Regression vs. Corrected Total	165083.6	2.0000	82541.81	2207.233	0.00

FV= Fuente de variación; GL= Grados de libertad; SC= Suma de cuadrados; CM= Cuadrados medios; F-Valor= F calculada; Pr>F= Probabilidad de F calculada.

Anexo 37. Análisis de varianza para el modelo lineal 2 con las variables Diámetro de la base-Altura para *Pinus rudis* en tres localidades del sur de Nuevo León.

FV	SC	GL	CM	F-valor	Pr>F
Regression	161848.0	2.0000	80924.02	5052.843	0.00
Residual	8968.7	560.0000	16.02		
Total	170816.7	562.0000			
Corrected Total	20979.2	561.0000			
Regression vs. Corrected Total	161848.0	2.0000	80924.02	2163.972	0.00

FV= Fuente de variación; GL= Grados de libertad; SC= Suma de cuadrados; CM= Cuadrados medios; F-Valor= F calculada; Pr>F= Probabilidad de F calculada.

Anexo 38. Análisis de varianza para el modelo lineal 3 con las variables Diámetro de la base-Altura para *Pinus rudis* en tres localidades del sur de Nuevo León.

FV	SC	GL	CM	F-valor	Pr>F
Regression	166826.4	3.0000	55608.79	7790.091	0.00
Residual	3990.4	559.0000	7.14		
Total	170816.7	562.0000			
Corrected Total	20979.2	561.0000			
Regression vs. Corrected Total	166826.4	3.0000	55608.79	1487.023	0.00

FV= Fuente de variación; GL= Grados de libertad; SC= Suma de cuadrados; CM= Cuadrados medios; F-Valor= F calculada; Pr>F= Probabilidad de F calculada.

Anexo 39. Análisis de varianza para el modelo lineal 1 con las variables Diámetro de la base-Edad para *Pinus rudis* en tres localidades del sur de Nuevo León.

FV	SC	GL	CM	F-valor	Pr>F
Regression	1900303	2.0000	950151.7	4204.123	0.00
Residual	126563	560.0000	226.0		
Total	2026866	562.0000			
Corrected Total	380505	561.0000			
Regression vs. Corrected Total	1900303	2.0000	950151.7	1400.861	0.00

FV= Fuente de variación; GL= Grados de libertad; SC= Suma de cuadrados; CM= Cuadrados medios; F-Valor= F calculada; Pr>F= Probabilidad de F calculada.

Anexo 40. Análisis de varianza para el modelo lineal 2 con las variables Diámetro de la base-Edad para *Pinus rudis* en tres localidades del sur de Nuevo León.

FV	SC	GL	CM	F-valor	Pr>F
Regression	1866818	2.0000	933409.1	3265.956	0.00
Residual	160048	560.0000	285.8		
Total	2026866	562.0000			
Corrected Total	380505	561.0000			
Regression vs. Corrected Total	1866818	2.0000	933409.1	1376.177	0.00

FV= Fuente de variación; GL= Grados de libertad; SC= Suma de cuadrados; CM= Cuadrados medios; F-Valor= F calculada; Pr>F= Probabilidad de F calculada.

Anexo 41. Análisis de varianza para el modelo lineal 3 con las variables Diámetro de la base-Edad para *Pinus rudis* en tres localidades del sur de Nuevo León.

FV	SC	GL	CM	F-valor	Pr>F
Regression	1906539	3.0000	635512.9	2952.379	0.00
Residual	120327	559.0000	215.3		
Total	2026866	562.0000			
Corrected Total	380505	561.0000			
Regression vs. Corrected Total	1906539	3.0000	635512.9	936.972	0.00

FV= Fuente de variación; GL= Grados de libertad; SC= Suma de cuadrados; CM= Cuadrados medios; F-Valor= F calculada; Pr>F= Probabilidad de F calculada.

Anexo 42. Análisis de varianza para el modelo de Schumacher con las variables Diámetro de la base-Edad para *Pinus rudis* en tres localidades del sur de Nuevo León.

FV	SC	GL	CM	F-valor	Pr>F
Regression	1898438	2.0000	949218.8	4138.981	0.00
Residual	128428	560.0000	229.3		
Total	2026866	562.0000			
Corrected Total	380505	561.0000			
Regression vs. Corrected Total	1898438	2.0000	949218.8	1399.486	0.00

FV= Fuente de variación; GL= Grados de libertad; SC= Suma de cuadrados; CM= Cuadrados medios; F-Valor= F calculada; Pr>F= Probabilidad de F calculada.

Anexo 43. Análisis de varianza para el modelo Nauslund con las variables Diámetro de la base-Edad para *Pinus rudis* en tres localidades del sur de Nuevo León.

FV	SC	GL	CM	F-valor	Pr>F
Regression	1904848	2.0000	952423.9	4371.127	0.00
Residual	122018	560.0000	217.9		
Total	2026866	562.0000			
Corrected Total	380505	561.0000			
Regression vs. Corrected Total	1904848	2.0000	952423.9	1404.211	0.00

FV= Fuente de variación; GL= Grados de libertad; SC= Suma de cuadrados; CM= Cuadrados medios; F-Valor= F calculada; Pr>F= Probabilidad de F calculada.

Anexo 44. Análisis de varianza para el modelo lineal 1 con las variables Diámetro normal-Altura para *Pinus rudis* en tres localidades del sur de Nuevo León.

FV	SC	GL	CM	F-valor	Pr>F
Regression	1135231	2.0000	567615.5	7514.279	0.00
Residual	57107	756.0000	75.5		
Total	1192338	758.0000			
Corrected Total	175182	757.0000			
Regression	1135231	2.0000	567615.5	2452.785	0.00

vs.Corrected Total

FV= Fuente de variación; GL= Grados de libertad; SC= Suma de cuadrados; CM= Cuadrados medios; F-Valor= F calculada; Pr>F= Probabilidad de F calculada.

Anexo 45. Análisis de varianza para el modelo lineal 2 con las variables Diámetro normal- Altura para *Pinus rudis* en tres localidades del sur de Nuevo León.

FV	SC	GL	CM	F-valor	Pr>F
Regression	1127308	2.0000	563654.0	6552.706	0.00
Residual	65030	756.0000	86.0		
Total	1192338	758.0000			
Corrected Total	175182	757.0000			
Regression vs.Corrected Total	1127308	2.0000	563654.0	2435.667	0.00

FV= Fuente de variación; GL= Grados de libertad; SC= Suma de cuadrados; CM= Cuadrados medios; F-Valor= F calculada; Pr>F= Probabilidad de F calculada.

Anexo 46. Análisis de varianza para el modelo lineal 3 con las variables Diámetro normal- Altura para *Pinus rudis* en tres localidades del sur de Nuevo León.

FV	SC	GL	CM	F-valor	Pr>F
Regression	1135514	3.0000	378504.7	5029.055	0.00
Residual	56824	755.0000	75.3		
Total	1192338	758.0000			
Corrected Total	175182	757.0000			
Regression vs.Corrected Total	1135514	3.0000	378504.7	1635.598	0.00

FV= Fuente de variación; GL= Grados de libertad; SC= Suma de cuadrados; CM= Cuadrados medios; F-Valor= F calculada; Pr>F= Probabilidad de F calculada.

Anexo 47. Análisis de varianza para el modelo Schumacher con las variables Diámetro normal- Altura para *Pinus rudis* en tres localidades del sur de Nuevo León.

FV	SC	GL	CM	F-valor	Pr>F
Regression	1136209	2.0000	568104.3	7651.724	0.00
Residual	56129	756.0000	74.2		
Total	1192338	758.0000			
Corrected Total	175182	757.0000			
Regression vs. Corrected Total	1136209	2.0000	568104.3	2454.897	0.00

FV= Fuente de variación; GL= Grados de libertad; SC= Suma de cuadrados; CM= Cuadrados medios; F-Valor= F calculada; Pr>F= Probabilidad de F calculada.

Anexo 48. Análisis de varianza para el modelo Nauslund con las variables Diámetro normal- Altura para *Pinus rudis* en tres localidades del sur de Nuevo León.

FV	SC	GL	CM	F-valor	Pr>F
Regression	1136074	2.0000	568037.2	7632.560	0.00
Residual	56264	756.0000	74.4		
Total	1192338	758.0000			
Corrected Total	175182	757.0000			
Regression vs. Corrected Total	1136074	2.0000	568037.2	2454.607	0.00

FV= Fuente de variación; GL= Grados de libertad; SC= Suma de cuadrados; CM= Cuadrados medios; F-Valor= F calculada; Pr>F= Probabilidad de F calculada.