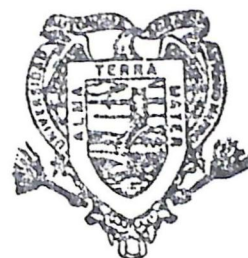


CALIDAD DE SITIO MEDIANTE ANALISIS TRONCAL
Y CRECIMIENTO ENTRE VERTICILLOS, EN
REGENERACION DE *Pinus rudis* Endl.

HECTOR DARIO GONZALEZ LOPEZ

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:
MAESTRO EN CIENCIAS
EN CIENCIAS FORESTALES



BIBLIOTECA
EGIDIO G. REBONATO
BANCO DE TESIS
U.A.A.A.N.



Universidad Autónoma Agraria
"Antonio Narro"

PROGRAMA DE GRADUADOS

Buenvista, Saltillo, Coah.

SEPTIEMBRE DE 2001

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
ANTONIO NARRO**

SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO

**CALIDAD DE SITIO MEDIANTE ANÁLISIS TRONCAL Y CRECIMIENTO
ENTRE VERTICILLOS, EN REGENERACIÓN DE *Pinus rudis* Endl.**

TESIS

POR

HÉCTOR DARÍO GONZÁLEZ LÓPEZ

**Elaborada bajo la supervisión del comité particular de asesoría y
aprobada como requisito parcial, para optar al grado de:**

**MAESTRO EN CIENCIAS
EN CIENCIAS FORESTALES**

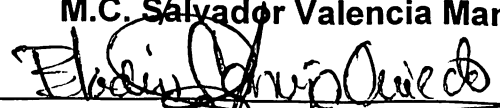
COMITÉ PARTICULAR

Asesor principal:



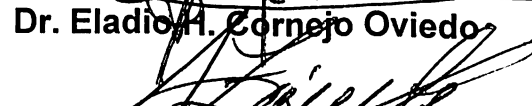
M.C. Salvador Valencia Manzo

Asesor:



Dr. Eladio H. Cornejo Oviedo

Asesor:

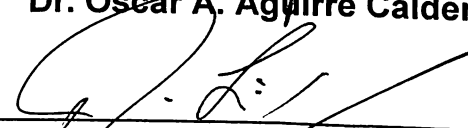


Dr. Alejandro Zarate Lupercio

Asesor:



Dr. Oscar A. Aguirre Calderón



Dr. Ramiro López Trujillo

Subdirector de postgrado

Buenavista, Saltillo, Coahuila, Septiembre de 2001

DEDICATORIA

A ti Gisela I, por tu amor, comprensión y por estar en todo momento a mi lado.

A mis padres por darme la vida, su amor, apoyo moral, sentimental, económico y por hacerme un hombre de bien.

A mis hermanos Alejandro, María †, María Guadalupe, por su cariño y comprensión.

A toda mi familia por los momentos compartidos.

A las familia Ollervides Álvarez por la confianza que me han brindado.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por el don maravilloso de la vida y por estar conmigo en todo momento.

A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, en cuyas instalaciones acervé conocimientos y experiencias para el desempeño profesional.

Al Departamento Forestal por su noble tarea de formar profesionistas forestales para el pueblo de México.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, por el apoyo de la beca crédito que permitió la culminación del postgrado.

Al M C. Salvador Valencia Manzo por su dedicación y empeño en mi formación como profesionista.

Al Dr. Eladio H. Cornejo Oviedo por su valiosa asesoría del presente trabajo.

Al Dr. Alejandro Zárate Lupercio por su orientación en la realización del presente trabajo

Al Dr. Oscar A. Aguirre Calderón por su empeño y orientación para la conclusión de este trabajo.

A los profesores de la Maestría en Ciencias Forestales por su desinteresado empeño en la transmisión de sus conocimientos

A mis compañeros y amigos de la Maestría en Ciencias Forestales.

COMPENDIO

Calidad de sitio mediante análisis troncal y crecimiento entre verticilos en
regeneración de *Pinus rudis* Endl.

POR

HÉCTOR DARÍO GONZÁLEZ LÓPEZ

MAESTRÍA EN CIENCIAS

CIENCIAS FORESTALES

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

BUENAVISTA, SALTILLO, COAHUILA. SEPTIEMBRE DE 2001

M.C. Salvador Valencia Manzo -Asesor-

Palabras clave: Calidad de sitio, índice de sitio, *Pinus rudis*,
regeneración, crecimiento entre verticilos

En regeneración de *Pinus rudis* Endl, de una porción de la Sierra Madre Oriental se determinó la calidad de estación empleando dos métodos, uno fue el de análisis troncal para lo cual se usó el método de la curva guía y el otro fue el de crecimiento entre verticilos. Ambas metodologías se compararon a través de una correlación de Pearson. Se midieron características fisiográficas y de suelo. Mediante un análisis de componentes

principales se seleccionaron las variables que más contribuyeron a explicar la varianza total del conjunto de la información de los datos.

Los resultados mostraron que a través de las dos metodologías utilizadas se puede estimar la calidad de sitio. El análisis de componentes principales permitió asociar la calidad de sitio con altitud, exposición, pendiente, pH del suelo y grosor del mantillo orgánico.

Both methods were successful for estimating the natural regeneration site quality. The principal components analysis yielded good association between site quality and variables such as elevation, aspect, slope, litter depth and soil pH.

ABSTRACT

Site quality through stem analysis and intercept growth of
Pinus rudis Endl.

By

HÉCTOR DARÍO GONZÁLEZ LÓPEZ

MASTER IN FOREST SCIENCES

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

BUENAVISTA, SALTILLO, COAHUILA. SEPTIEMBRE DE 2001

M.C. Salvador Valencia Manzo -Advisor-

Keybs word: Quality site, Site index, *Pinus rudis*,

Regeneration, intercept growth

This study was done to compared two methods, stem analysis and intercept growth, to estimate the site quality of *Pinus rudis* Endl. Regeneration at the Sierra Madre Oriental. The Pearson correlation coefficient was used to compare both methods. Physiographic and soil variables ware measured. Principal components analysis was used to select that contributed to explain the total variance.

ÍNDICE DE CONTENIDO

	Página
ÍNDICE DE CUADROS.....	xiii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiv
INTRODUCCIÓN	1
CALIDAD DE SITIO MEDIANTE ANÁLISIS TRONCAL EN REGENERACIÓN DE <i>Pinus rudis</i> Endl. EN UNA PORCIÓN DE LA SIERRA MADRE ORIENTAL	5
Introducción	5
Materiales y métodos	11
Descripción del área de estudio	11
Diseño de muestreo y selección de rodales	15
Selección de arbolado	17
Medición de arbolado	17
Estimación de parámetros en los modelos de crecimiento.....	18
Construcción de curvas anamórficas de índice de sitio	22
Resultados y discusión	23
Selección de modelos de crecimiento	23
Curvas anamórficas de índice de sitio	24
Conclusiones y recomendaciones	28
Literatura citada	30
CALIDAD DE SITIO A TRAVÉS DEL CRECIMIENTO ENTRE VERTICILLOS EN <i>Pinus rudis</i> Endl. EN UNA PORCIÓN DE LA SIERRA MADRE ORIENTAL	36
Introducción	36

Materiales y métodos	41
Descripción del área de estudio.....	41
Diseño de muestreo y selección de rodales	45
Selección y medición de arbolado.....	47
Comparación de metodologías crecimiento entre verticilos y análisis troncal	49
Resultados y discusión	51
Comprobación del crecimiento anual para <i>Pinus rudis</i> Endl	51
Correlación entre altura total y longitud de los cinco entre verticilos	52
Calidad de sitio por crecimiento entre verticilos	52
Comparación de calidad e índice de sitio del crecimiento entre verticilos y análisis troncal	55
Conclusiones y recomendaciones.....	58
Literatura citada	60

CALIDAD DE SITIO Y SU ASOCIACIÓN CON VARIABLES

FISIOGRÁFICAS Y DE SUELO DE LA REGENERACIÓN DE *Pinus rudis*

ENDL. EN UNA PORCIÓN DE LA SIERRA MADRE ORIENTAL.....

Introducción	64
Materiales y métodos	67
Descripción del área de estudio.....	67
Selección de rodales	70
Medición de variables dasométricas, fisiográficas y de suelo	70
Análisis estadístico de las variables fisiográficas y de suelo	71
Resultados y discusión	73
Conclusiones y recomendaciones.....	83

Literatura citada	84
DISCUSIÓN	87
CONCLUSIÓN	100
LITERATURA CITADA	101
RESUMEN	107
APÉNDICES	110

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro N°	Página
2.1. Modelos de crecimiento para describir el crecimiento en altura de la regeneración de <i>Pinus rudis</i>	19
2.2. Valores estimados de los parámetros estadísticos para calificar los modelos de crecimiento en regeneración de <i>Pinus rudis</i>	24
2.3 Rangos de calidad e índice de sitio en regeneración de <i>Pinus rudis</i> a una edad base de 10 Años.....	27
3.1. Valores de calidad e índice de sitio del crecimiento entre verticilos de la regeneración de <i>Pinus rudis</i>	53
3.2. Calidad e índice de sitio de los rodales seleccionados de las metodologías análisis troncal y crecimiento entre erticilos.....	55
4.1. Valores propios (eigenvalores) y varianza acumulada de los componentes principales del método crecimiento entre Verticilos.....	73
4.2. Valores de correlación entre los componentes y las variables fisiográficas y de suelo.....	75

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N°	Página
2.1. Localización de área de estudio de una porción de la Sierra Madre Oriental	12
2. 2. Curvas anamórficas de la calidad e índice de sitio para la regeneración de <i>Pinus rudis</i> Endl. a una edad base de 10 años para la porción Norte de la Sierra Madre Oriental	26
3.1. Localización del área de estudio de una porción de la Sierra Madre Oriental	42
3.2. Esquema del método del crecimiento entre verticilos	49
4.1. Localización del área de estudio de una porción de la Sierra Madre Oriental	70
4.2. Componente 1 e índice de sitio de los 10 rodales seleccionados de la regeneración de <i>Pinus rudis</i>	76
4.3. Componente 2 e índice de sitio de los 10 rodales seleccionados de la regeneración de <i>Pinus rudis</i>	77
4.4. Componente 3 e índice de sitio de los 10 rodales seleccionados de la regeneración de <i>Pinus rudis</i>	81
4.5. Componente 4 e índice de sitio de los 10 rodales seleccionados de la regeneración de <i>Pinus rudis</i>	82

INTRODUCCIÓN

La superficie arbolada de México es de 30.423 millones de hectáreas, de las cuales 6.300 millones de hectáreas corresponden a bosques de coníferas (SEMARNAP, 1998). El género *Pinus* es el de mayor aprovechamiento, en el año de 1998 contribuyó con el 80 por ciento de la producción de volumen que fue de 6.970 millones de metros cúbicos (SEMARNAP, 1998).

El consumo de madera en México muestra una tendencia creciente en el período de 1990 a 1998 incrementó, con una tasa de crecimiento anual de 17.4 por ciento. En 1998 la producción forestal maderable fue de 8.3 millones de metros cúbicos rollo, lo cual satisfizo el 57 por ciento del consumo nacional aparente que ascendió a 14.5 millones de metros cúbico rollo (SEMARNAP, 1998). Lo anterior hace necesario realizar mejores prácticas silvícolas, las cuales deben considerar desde el establecimiento hasta la corta final del arbolado. En este proceso se requiere tener clasificados los terrenos forestales por su nivel de productividad con la finalidad de tomar la mejor decisión silvícola y poder dar a los terrenos forestales la intensidad de manejo que corresponda a su productividad.

La calidad de sitio es la suma de muchos factores ambientales climáticos, edáficos y biológicos, entre los que se pueden mencionar la

profundidad del suelo, su textura, las características de sus perfiles, su composición mineral, lo pronunciado de sus pendientes, la exposición, el microclima y las especies que se desarrollan sobre él (Daniel *et al.*, 1982). Dichos factores se expresan en la producción de madera, forraje, agua y fauna (Spurr y Barnes, 1982; Pritchett, 1986).

La determinación de la productividad del sitio es una de las herramientas más valiosas en el manejo integral de los recursos forestales y parámetro a considerar en la toma de decisiones silvícolas, ya que basados en la productividad se pueden definir tratamientos como podas, aclareos y elaborar tablas de producción (Aguilar y Aguilar, 1991). Una forma de evaluar la productividad es a través de la calidad de sitio que se expresa de manera cuantitativa y en función de ésta aplicar los programas de manejo, de los productos forestales como madera, agua, forraje y en dado caso para la recreación (Daniel *et al.*, 1982; Benavides y Manzanilla, 1993).

Las características que más se han utilizado para estimar la calidad de sitio son alturas de los árboles dominantes y volúmenes de madera totales por unidad de área; de ambas, la altura dominante es la más utilizada por considerarse que es la variable dasométrica menos afectada por la densidad de los rodales. El uso del volumen total se debe a que es la característica dasométrica que mejor representa la calidad de sitio de un lugar determinado, por considerarse ésta como la respuesta del sitio a los factores ambientales,

pero también debe de reconocerse que la producción de madera está en función del manejo (Rivero y Zepeda, 1990). De manera que dos áreas bajo manejo puedan producir la misma cantidad de madera aun cuando sean de diferente calidad de sitio.

Los estudios sobre calidad de sitio, tradicionalmente se han realizado en áreas con arbolado comercial, pero a esto es necesario evaluar la calidad de sitio en rodales jóvenes, con la intención de garantizar la permanencia de los recursos forestales (Rivera, 1996) y con la finalidad de hacer planes de manejo acordes a la capacidad productiva de cada sitio (Benavides, 1993).

Existen diversos métodos para clasificar la productividad de los terrenos forestales, desde los que consideran el uso de vegetación indicadora hasta los que miden la producción de un determinado recurso, tal como la madera (Daniel *et al.*, 1982). Entre los métodos más empleados, en bosques de coníferas, se encuentran el análisis troncal y el método que utiliza el taladro de Pressler, que consideran para su evaluación principalmente relaciones de edad y altura de los árboles. Modelos de crecimiento conocidos se ajustan a los pares de valores edad y altura, para obtener una curva de crecimiento. Dicha curva de crecimiento en altura, representan la calidad de estación de manera cualitativa, es decir, como buena, mala, regular y pobre, y de manera cuantitativa como índice de sitio, dicho índice representa la altura máxima que pueden alcanzar los árboles bajo

las condiciones del medio en que se encuentran a una edad base (Benavides, 1993).

El análisis troncal es el método más confiable, pero el de mayor costo y tiempo, además de ser destructivo, pues es necesario el derribo del árbol para obtener secciones o rodajas a través del árbol apeado. El método utilizando taladro de Pressler, por su parte, es menos confiable, de menor costo y tiempo en comparación con el método de análisis troncal.

Una alternativa más es el método de distancia entre verticilos, llamado también del intercepto. Este método se basa en la altura que desarrolla un árbol en un periodo de cinco años, después de que ha alcanzado una altura de 1.30 metros. La metodología consiste en medir la altura de dicho periodo y considerarla como estimador de la calidad e índice de sitio.

Los objetivos del presente trabajo son

- 1). Evaluar la calidad de sitio de la regeneración de *Pinus rudis* Endl. a través de dos metodologías. Una de ellas fue análisis troncal y la otra, crecimiento entre verticilos.
- 2). Comparar las dos metodologías y
- 3). Asociar las calidades de sitio con variables fisiográficas y de suelo.

CALIDAD DE SITIO MEDIANTE ANÁLISIS TRONCAL EN REGENERACIÓN DE *Pinus rudis* Endl. EN UNA PORCIÓN DE LA SIERRA MADRE ORIENTAL

Introducción

Para estimar la calidad de sitio se utilizan diversos métodos, la elección de alguno depende de los recursos con que se cuente, la infraestructura, la precisión requerida y la facilidad con que se pueda aplicar el método (Benavides, 1993).

La calidad de sitio es posible evaluarla a través de sistemas de clasificación (métodos directos e indirectos), cuya finalidad es separar los sitios con base a su producción o potencial productivo de volumen de madera (Pritchett, 1986).

Daniel *et al.* (1982) y Spurr y Barnes (1982) consideran como métodos directos aquellos basados en la estimación directa de volúmenes brutos de madera por unidad de superficie por año, obtenidos a través de datos a largo plazo. Por otra parte, Zepeda (1990) señala que éstos se basan en características dasométricas (volúmenes, alturas y diámetros), con base en registros históricos o relaciones directas de altura, edad, diámetro e incrementos en altura.

Daniel *et al.* (1982) definen a los métodos indirectos como procedimientos con los que es posible expresar a través de algunas características indicadoras la capacidad productiva de un lugar.

Para evaluar indirectamente la calidad de sitio, Pritchet (1986) considera a los tipos de vegetación terrestre y tipos de hábitat; en el primero se utilizan plantas indicadoras donde la productividad forestal no puede medirse directamente, por la razón de que los sistemas radiculares poco profundos de estas plantas son más sensibles que los árboles a las diferencias edáficas en el terreno, sin embargo, el suelo y las alteraciones del sitio pueden cambiar el desarrollo de las plantas indicadoras; para el hábitat considera al bosque como una comunidad compleja donde se considera el ambiente físico, ya que la composición, estructura y productividad de los bosques naturales son el reflejo de las condiciones del suelo y clima, además, para una mayor comprensión es necesario considerar a otros factores tales como ecológicos y antropogénicos.

Otra forma de estimar la calidad de sitio es utilizar factores climáticos relacionados con características de la vegetación (Rivero y Zepeda, 1990), la forma de predecir la calidad de sitio (productividad) es a través de modelos matemáticos de regresión múltiple, a partir de variables ambientales (Campos, 1990).

Daniel *et al.* (1982) y Rivero y Zepeda (1990) destacan que dentro de la clasificación de calidad de sitio se consideran las propiedades de los suelos y/o

características topográficas, como la roca madre, la capacidad que tiene el suelo para aportar humedad y nutrientes a la comunidad vegetal, también las características del perfil, la forma del relieve, la pendiente y exposición del suelo.

Los métodos de factores múltiples o combinados consideran factores de tipo geográfico, climatológico, geológico, edafológico y topográfico; estos factores se incluyen tanto en los métodos directos como indirectos para estimar la calidad de sitio de las áreas forestales arboladas o no arboladas (Rivero y Zepeda, 1990).

Aún cuando los métodos se presentan en forma independiente, la estimación de la calidad de sitio puede hacerse a través de combinaciones de éstos (Rivero y Zepeda, 1990).

El índice de sitio es un método directo para evaluar la calidad de sitio, ayuda a conocer el incremento y la producción en forma directa, el cual representa la altura máxima que pueden alcanzar los árboles bajo las condiciones del medio en que se encuentran; la altura máxima debe provenir de árboles dominantes y/o codominantes, ya que son los que han aprovechado mejor el suelo y el clima del lugar. Para conocer el índice de sitio es necesario la elaboración de grupos de curvas de crecimiento en altura que describen el crecimiento en altura de un índice de sitio específico (Benavides, 1993). De igual forma Klepac (1976) define al índice de sitio como la altura media de un

árbol a una edad base. La edad base puede elegirse cerca del turno técnico (Zepeda y Rivero, 1984; Benavides, 1993), pero también puede elegirse cuando el incremento medio anual (IMA) en altura es máximo (Zepeda y Rivero, 1984).

Pritchett (1986) menciona que el índice de sitio es empírico y proporciona información limitada; sin embargo, es una guía adecuada y conveniente para el crecimiento potencial de los árboles de una especie determinada. El análisis troncal es el método más confiable para desarrollar el índice de sitio, ya que se puede reconstruir el crecimiento e incremento de un árbol en un determinado tiempo de su vida (Klepac, 1976). Por otra parte, Benavides (1993) indica que el método del índice de sitio es un método muy utilizado en zonas boscosas y aunque presenta algunas desventajas, las ventajas son suficientes para su reconocimiento y uso extensivo. De las ventajas que presenta se pueden mencionar las siguientes:

- a) es muy fácil su medición y sólo se necesita la edad y la altura de los árboles seleccionados;
- b) la densidad del arbolado no afecta significativamente el índice;
- c) el índice es cuantificable, es decir, se le asigna un cierto valor a un árbol, a un rodal o a un sitio; y
- d) permite conocer el potencial productivo, en una etapa del bosque en ese momento.

De las desventajas del índice, Benavides (1993) menciona:

- a) es necesario elegir árboles dominantes o codominantes;
- b) se necesitan rodales coetáneos;
- a) en rodales con mezcla de especies se deben elegir aquellas de interés, ya que sólo es válido para una especie debido a que dos especies presentan diferente crecimiento; y
- e) no es muy aplicado en rodales jóvenes.

Dado que no se ha aplicado en rodales jóvenes como lo menciona Benavides (1993), es necesaria la determinación de los índices de sitio en estas condiciones, ya que un plan de manejo y aprovechamiento debiera de aplicarse desde el establecimiento de la regeneración.

Zepeda y Rivero (1984) manifiestan que la curva guía indica el comportamiento medio del crecimiento en altura dominante de varios rodales coetáneos; representa el patrón de crecimiento en altura dominante que se supone sigue, en promedio un conjunto de rodales coetáneos.

Clutter *et al.* (1983) definen al método de la curva guía como un procedimiento ideado para construir sistemas de curvas anamórficas de índice de sitio, que son familias de líneas paralelas con igual pendiente, pero con intercepción al origen variable.

Pinus rudis, es una especie de importancia forestal maderable en la Sierra Madre Oriental, por lo que la especie debiera ser utilizada para clasificar áreas con base en su productividad. El *P. rudis* se distribuye en Coahuila, Tamaulipas, Nuevo León, Zacatecas, Jalisco, Michoacán, Hidalgo, Estado de México, Puebla y Oaxaca (Martínez, 1992), Veracruz, Tlaxcala, Colima, el Distrito Federal (Perry, 1991) y Chiapas (Rzedowski, 1978).

La especie se desarrolla en regiones climáticas templadas y condiciones climáticas con frío moderado, con precipitación de 1000 mm o más, la especie se desarrolla en altas elevaciones en rangos de 2200 a 3200 msnm; se puede encontrar en elevaciones, inferiores y raramente sobre los 3300 msnm; se desarrolla en suelos bien drenados, areno gravosos e inclinados, frecuentemente de origen volcánico y asociado con *Pinus montezumae*, *P. hartwegii*, *P. ayacahuite* var. *brachyptera* y *Abies* spp (Perry, 1991).

El objetivo general del presente estudio es determinar, a través de análisis troncal, la calidad de estación y el índice de sitio en regeneración natural de *Pinus rudis* en una porción de la Sierra Madre Oriental.

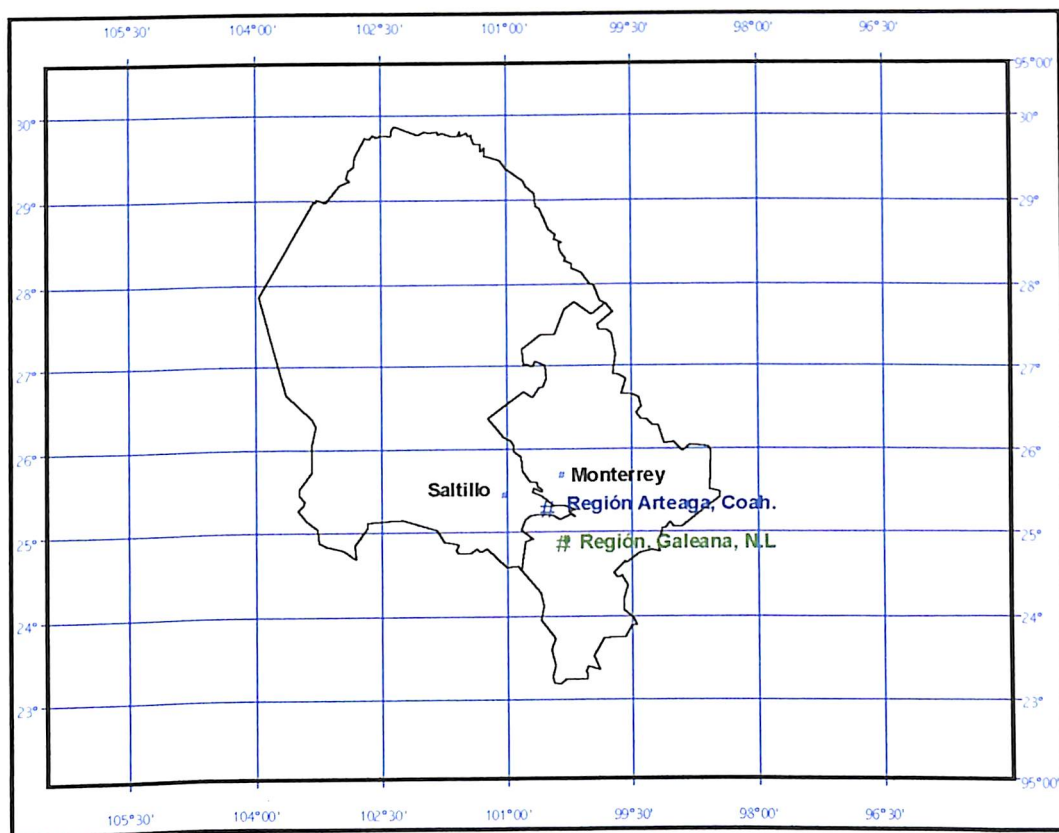
Materiales y métodos

Descripción del área de estudio

Se localiza en la porción Norte de la Sierra Madre Oriental, en los límites de Coahuila y Nuevo León, comprende dos regiones, 1) el Cerro El Potosí, Galeana, N.L., y 2) la Sierra de San Antonio de las Alazanas, Arteaga, Coah. (Figura 2.1.).

La región de Galeana, Nuevo León comprende 10 rodales de varios predios de las inmediaciones del Cerro El Potosí, localizados entre los meridianos $100^{\circ}13'$ y $100^{\circ}15'$ de longitud Oeste y entre los paralelos $24^{\circ}51'$ y $24^{\circ}54'$ de latitud Norte (CETENAL, 1977; SARH, 1985).

Se presenta una topografía muy accidentada con prominencia importante el Cerro El Potosí, con pendientes que varían entre 20 y 110%, con exposiciones dominantes Noreste y altitudes de 2800 a 3500 msnm (DGMAF, 1985).



Áreas de estudio



Figura 2.1. Localización del área de estudio.

Para esta región se reporta una geología de rocas sedimentarias, calizas y lutitas (DETENAL, 1978). El suelo corresponde a los tipos de rendzina litosol con clase textural fina y litosol con clase textural fina, localizados por arriba de los 3200 msnm y rendzina con catañozem háplico con textura fina en altitudes menores (DETENAL, 1977).

Según la estación meteorológica ubicada en el municipio de Galeana, Nuevo León, a 1655 metros de altitud y a la clasificación climática de Koppen modificada por García (1988), el clima predominante en el área corresponde a un clima seco a estepario, semicálido con invierno fresco. La temperatura media anual es de 14.5 °C; la media del mes más frío es de -3°C y la media del mes más caliente es de 18°C; el régimen de lluvias es de verano; la precipitación promedio anual es de 558.5 mm (CETENAL-UNAM, 1970). Las estaciones se ubican en menores altitudes y el área de estudio, se encuentran en mayores altitudes, por lo que se espera mayor precipitación y menor temperatura.

La vegetación corresponde a bosque de pino en el estrato superior y chaparral en el estrato inferior (CETENAL, 1976). Por su parte, Rzedowski (1978) la considera como un bosque de *Pinus*, su extensión es discontinua y a menudo se presenta en forma de bosques mixtos de *Quercus* y *Pinus*, alcanzando su mayor representación en los macizos montañosos del Cerro El Potosí.

La región de San Antonio Alazanas se localiza en la Sierra de Arteaga, específicamente a las estribaciones de la Sierra Madre Oriental, en el municipio de Arteaga, Coahuila, localizado entre los meridianos $100^{\circ} 26'$ y $100^{\circ} 33'$ de longitud Oeste y entre los paralelos $25^{\circ} 15'$ y $25^{\circ} 20'$ de latitud Norte (CETENAL, 1977a; INEGI, 1983).

Las altitudes del área van de 3000 a 3300 msnm. En la zona predominan estratos plegados de calizas, la orografía está constituida por sistemas de topoformas llamadas sierras de pliegue, flexionadas, bajadas con sierras y valle intermontano con orientación Este a Oeste y Noreste a Sureste, con pendientes fuertes que se encuentran entre los rangos de 10 a 70% (CETENAL, 1977a; INEGI, 1983).

Las rocas son de tipo calizas sedimentarias (CETENAL, 1977b; INEGI, 1983). Los suelos dominantes son someros de origen residual y textura media. Estos suelos se asocian con rendzinas que son suelos más profundos y de color oscuro, así como con regosoles calcáreos que son suelos de color claro, profundos y de textura media. Todos los suelos están limitados por una fase física, ya sea gravosa, pedregosa o petrocálcica (CETENAL, 1977b; INEGI, 1983).

Según la estación meteorológica ubicada en el municipio de San Antonio de las Alazanas Coahuila a 2138 msnm y a la clasificación climática de Koppen modificada por García (1981), el clima predominante en el área corresponde a un clima templado, húmedo y subhúmedo con lluvias escasas todo el año, verano fresco y largo, muy extremo, la temperatura media anual es de 12.7°C, la del mes más frío es de -8°C y la del mes más caliente es de 18°C, la precipitación media anual de 498 mm; los meses más lluviosos corresponden a julio y agosto, con escasez de lluvia en invierno. Las estaciones se ubican en menores altitudes y el área de estudio, se encuentran en mayores altitudes, por lo que se espera mayor precipitación y menor temperatura.

El tipo de vegetación del estrato arbóreo corresponde principalmente a asociaciones de *Pinus-Abies*, *Pinus-Abies-Pseudotsuga* y *Abies Pseudotsuga*, en algunas porciones corresponde a rodales puros de *Pinus rudis* (DETENAL, 1979).

Diseño de muestreo y selección de rodales

Para la selección de los rodales se consideró utilizar rodales puros con regeneración de *Pinus rudis*, dichos rodales presentan edades que van de 11 a 28 años, las alturas varían entre 3.6 y 7.7 metros, el diámetro promedio a

1.30 m, es de 10 centímetros. Se recurrió a las Unidades de Conservación y Desarrollo Forestal para revisar los antecedentes de las áreas de estudio. Con la finalidad de efficientar las labores de reconocimiento e identificación de los rodales, se apoyó en el personal técnico, fotografías aéreas pancromáticas escala 1:75,000, cartas topográficas (G14C35 y G14C56) escala 1:50,000, y mapas de las áreas de los programas de manejo. Se seleccionaron 15 rodales, 10 en el área de Galeana, Nuevo León y 5 en la región de Arteaga, Coahuila.

Identificadas las áreas con arbolado en etapas juveniles de desarrollo, éstas se ubicaron y se rodalizaron, con el propósito de que cada área quedara ubicada en las cartas y fotografías aéreas, dicho material fue proporcionado por Unidades de Conservación y Desarrollo Forestal de las regiones bajo estudio, para una mejor distribución de las unidades de muestreo.

Posteriormente, se hicieron recorridos de campo con el fin de comprobar la selección de los mejores sitios de muestreo ya que los rodales o sitios seleccionados, deben de estar bajo competencia interespecífica y por lo tanto, la atención se hizo hacia aquellos individuos dominantes y/o codominantes.

Se utilizó el diseño de muestreo estratificado sistemático considerando el estrato a aquellas áreas con diferencia en fisiografía, (altitud, pendiente, exposición) y que se encontrara la especie de *Pinus rudis*, seleccionando un mínimo de cinco árboles dominantes y/o codominantes por cada rodal. González y Flores (1999) señalan que un tamaño de muestra para condiciones de regeneración y área de estudio similar, utilizando la asignación Neyman es de dos a siete árboles por rodal, para obtener una precisión en altura de 0.65 m.

Selección del arbolado

Con la finalidad de cubrir los rangos de variación en cuanto a las características fisiográficas, se seleccionaron 87 árboles de *Pinus rudis* distribuidos en los 15 rodales seleccionados del área de estudio, con un mínimo de cinco árboles dominantes y/o codominantes por cada rodal. Los árboles debieran estar ausentes de daño, libre de plagas y enfermedades, además se usó la clasificación de de Keen (Hocker, 1984) que considera la edad y el vigor de los árboles.

Medición de arbolado

Posterior al derribo de los árboles, de cada árbol apeado se tomaron secciones o rodajas transversales con apoyo de una motosierra y una segueta

de metal. Las rodajas se obtuvieron a alturas de 0.0 m, 0.30 m y a partir de 0.30 m a cada metro hasta cubrir la longitud total de los árboles. Las rodajas, se identificaron con una clave (con el propósito de evitar pérdida y confusión de rodajas). La clave incluía el número de rodal, sitio, árbol y altura de corte; se guardaron en bolsas de papel y plástico, y finalmente en costales de nylon para ser transportadas al laboratorio.

Las rodajas se secaron al aire libre, una vez secas estas, se procedió a aclarar los anillos mediante el empleo de una pulidora de banda. Después se procedió a la medición de los anillos anuales de crecimiento, ésto se hizo marcado un radio sobre cada rodaja, como lo mencionan Bruce y Schumacher (1965), Klepac (1976) y Jiménez (s.f).

Los pares de valores de edad y altura del análisis troncal se registraron en formatos adaptados de Klepac (1976).

Estimación de parámetros en los modelos de crecimiento

De los modelos más ampliamente utilizados para determinar calidad de sitio y los recomendados para el crecimiento forestal, se eligieron para probar, aquellos que pueden ser transformados de no lineales a lineales (Cuadro 2.1.) (Draper y Smith, 1981).

Cuadro 2.1. Modelos para describir el crecimiento en altura de la regeneración de *Pinus rudis* en una porción de la Sierra Madre Oriental.

Nombre del modelo	Ecuación
Schumacher	b/t^c $Y = ae$
Chapman-Richards	$Y = a (1 - e^{-bt})^c$
Gompertz	$-b^{-ct}$ $Y = a e$
Korf	$-bt^{-c}$ $Y = ae$
Logístico	$Y = a / (-1 + c e^{-bt})$
Weibull	c $Y = a(1 - e^{-bt})^c$

Y= altura dominante del árbol; t = edad, a, b, c, = parámetros probados, e= base de los logaritmos naturales.

(Fuente: Scumacher, 1939; Zeide, 1993; Zamudio y Ayerde, 1997).

Se hizo un diagrama de dispersión con los pares de valores de la altura dominante (Y) con la edad de los árboles (X), del análisis troncal de cada árbol. En este diagrama se revisó la disposición de los puntos, para identificar si existían, algunos puntos alejados, llamados "outliers" ó puntos aberrantes (Vanclay, 1994).

Se utilizó el procedimiento de regresión no lineal (Non Linear Regression o NLIN), utilizando el método de posición falsa o procedimiento DUD (SAS Institute, 1985). Se estimaron los parámetros de cada uno de los modelos por el procedimiento de cuadrados mínimos, para regresiones no lineales (Draper y Smith, 1981), con el fin de minimizar la suma de cuadrados residual (Ratkowsky, 1983; Clutter *et al.*, 1983).

Después, se compararon los diagramas de dispersión, con la finalidad de ver el ajuste de los modelos probados, los cuales fueron: Schumacher, Chapman-Richards, Korf, Gompertz, Logístico y Weibull (Cuadro 2.1.).

Posteriormente se utilizó el análisis de datos y modelos, de acuerdo a Vanclay (1994), primero se examina el diagrama de dispersión; segundo se presenta gráficamente sobre el diagrama de dispersión el ajuste del modelo; y tercero, se revisan los valores de los residuales y se comparan con los valores ajustados (Alder, 1980).

El propósito del análisis de los residuales fue para determinar cuándo los residuales confirman los supuestos del modelo, es decir, primero si están correlacionados, segundo si están normalmente distribuidos y tercero si tienen varianza uniforme. Además, evaluar la falta de ajuste en el modelo por una tendencia sistemática de los residuales y examinar visualmente la forma de las

relaciones entre los residuales. Se grafican los residuales de altura de los valores ajustados del modelo y la edad.

Para hacer más estricta la comparación entre los modelos y seleccionar el de mejor ajuste se obtuvieron los valores de los siguientes estadísticos: cuadrado medio residual (CMR), coeficiente de determinación (R^2) y coeficiente de variación (CV). Se consideró como mejor modelo, aquel que presentara valores menores de CMR y CV y únicamente para el coeficiente de determinación valores mayores (Alder, 1980; Freud y Littell, 1991). Los estadísticos de validación se tomaron del análisis de varianza (ANVA) elaborado en el paquete estadístico SAS.

Por último se calculó el coeficiente de variación (CV) mediante la fórmula: $CV = (CMR)^{1/2} / \bar{X} \cdot 100$

Donde: CV = Coeficiente de variación. CMR = Cuadrado Medio Residual.

$\bar{X}$ = Media muestral

Con los criterios mencionados se eligió como el modelo de mejor ajuste, aquel que presentara las mejores características, de acuerdo con sus valores estadísticos.

Construcción de curvas anamórficas de índice de sitio

La edad base se determinó cuando el incremento medio anual (IMA) en altura fue máximo. Se construyeron cinco curvas de calidad de sitio.

Se utilizó el método de la curva guía para la construcción de las curvas anamórficas de acuerdo con Zepeda y Rivero (1984), para lo cual primeramente, se generó un diagrama de dispersión de los pares de valores edad-altura dominante y después se presentó el ajuste del modelo. Con esto se genera la tendencia de la curva guía a la edad base predeterminada.

La dispersión de los valores a la edad base en la curva guía, se utilizaron para determinar la equidistancia entre curvas, se determinó una distancia de 0.5 m, generando con ésto los valores de los puntos que definen el comportamiento de cada una de las curvas de calidad de sitio.

Resultados y discusión

Selección de modelos de crecimiento

Los rodales seleccionados, presentan edades que van de 11 a 28 años, con alturas que variaron entre 3.6 y 7.7 metros, con un diámetro promedio a 1.30 m, de 10 centímetros.

El modelo seleccionado para la construcción de la curva de ajuste del crecimiento en altura, fue el modelo de Schumacher. Este modelo presentó los menores valores en cuadrado medio del error (CME) (0.7448), coeficiente de variación (CV) (0.3274). Asimismo, presentó el mayor valor de coeficiente de determinación (R^2) (0.9343) (Cuadro 2.2.). La distribución de los residuales fue de manera uniforme (Apéndice 2). Los modelos Chapman-Richards, Weibull, Logístico y Gompertz también pueden ser utilizados con confianza, debido a que presentan valores de sus estadísticos (CME, CV, y R^2) cercanos al modelo de Schumacher (Cuadro 2.2.)

Los modelos Schumacher y Chapman-Richards son los que más se han utilizado debido a sus mejores valores de ajustes. Ejemplo de ello son los trabajos de Fierros y Ramírez (1990), Gómez *et al.*, (1992), Zeide (1993) Zamudio y Ayerde (1997) y Quiñones *et al.*, (1998).

Cuadro 2.2. Valores estimados de los parámetros estadísticos, para calificar los modelos de crecimiento en regeneración de *Pinus rudis*.

MODELO	CMR	R^2	CV (%)
SCHUMACHER	0.7448	0.9343	32.74
CHAPMAN- RICHARDS	0.7458	0.9341	32.78
KORF	2.9564	0.7552	65.23
LOGÍSTICO	0.7488	0.9339	32.82
GOMPERTZ	0.7537	0.9335	32.93

CMR=cuadrado medio residual; R^2 =coeficiente de determinación; CV=coeficiente de variación.

Curvas anamórficas de calidad de sitio

La edad base elegida fue de 10 años, que corresponde al máximo incremento medio anual (IMA) (0.34 m año^{-1}).

En la mayor parte de los estudios sobre estimación de la calidad de sitio, se han utilizado árboles adultos, cuya edad base elegida es superior a los 40 años (Benavides y Manzanilla, 1993; Quiñones *et al.*, 1998), en dichos estudios la edad base elegida considera el incremento medio anual en altura, que corresponde a un valor cercano al turno técnico. Lo anterior hace que exista una marcada diferencia al comparar la edad base de arbolado adulto y regeneración (Rivero y Zepeda, 1984).

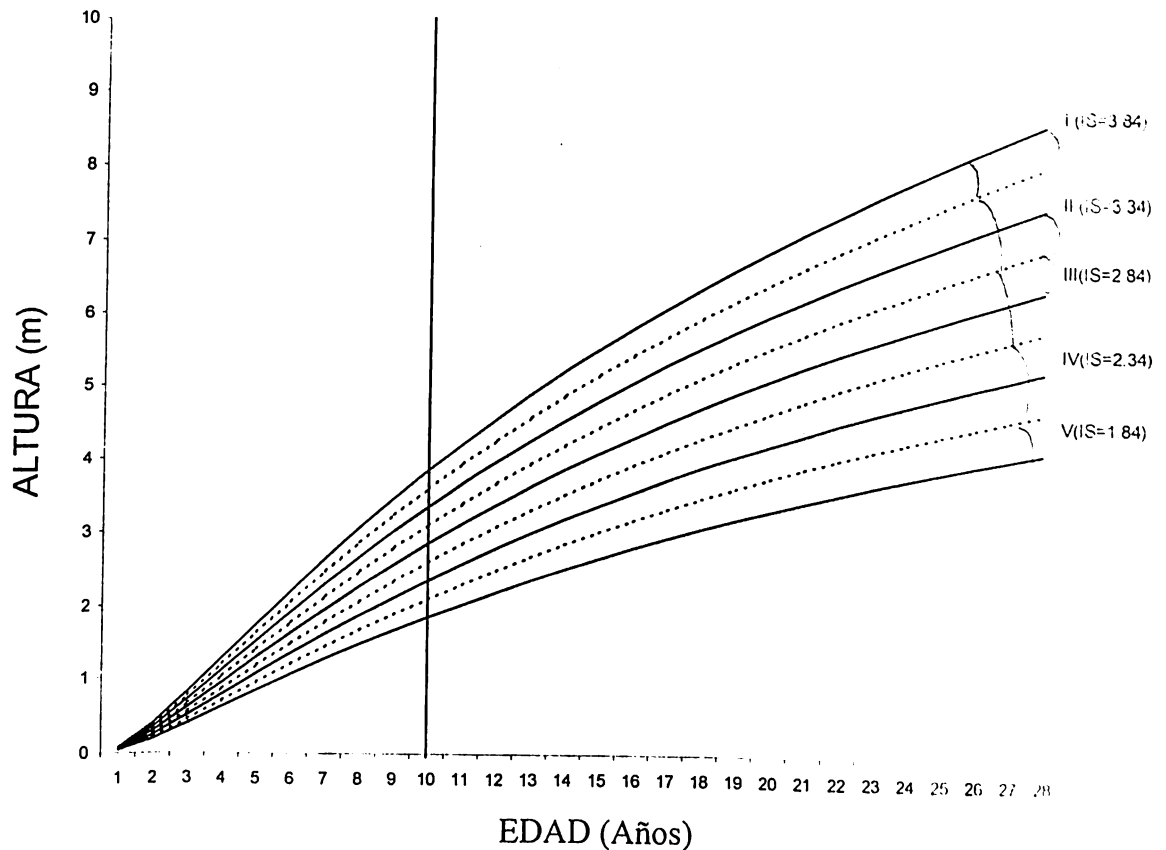
A partir de la curva guía, se obtuvieron cinco curvas anamórficas de índice y calidad de sitio utilizando el modelo de Schumacher (Figura 2.2.). La ecuación utilizada es:

$$\text{altura} = 26.07895713 e^{-6.14158750/\text{edad}^{0.4422860}}$$

e=base de los logaritmos naturales.

Se puede notar que la equidistancia entre, entre una y otra calidad de sitio, es de 0.5 m. a una edad base de 10 años (Figura 2.2, Cuadro 2.3).

Fierros y Ramírez (1990) determinaron una equidistancia de 3 metros a una edad base de 15 años para una plantación comercial de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, en La Sabana, Oaxaca. La edad base estimada de 15 años, considerando el máximo incremento medio anual en altura (IMA), es muy cercana a la determinada en este trabajo para *Pinus rudis*, que fue de 10 años.



I, II, III, IV, V=Calidad de sitio; IS=índice de sitio.

Figura 2.2. Curvas anamórficas de calidad e índice de sitio para la regeneración de *Pinus rudis* Endl. a una edad base de 10 años para la porción Norte de la Sierra Madre Oriental.

El valor similar de la edad base se debe a que el crecimiento en altura es distinto para las dos especies, *Pinus caribaea*, es de rápido crecimiento y alcanza valores de índice de sitio de 12 a 21 metros a la edad base de 15 años (Fierros y Ramírez, 1990), comparados con *Pinus rudis* de 1.84 a 3.84 m, a una edad base de 10 años (Cuadro 2.3.). En *P. caribaea* esta edad base corresponde a un tiempo de aprovechamiento, mientras que en *P. rudis* es un tiempo para los primeros aclareos en regeneración.

Cuadro 2.3. Rangos de calidad e índice de sitio en regeneración de *Pinus rudis* a una edad base de 10 años.

Calidad de sitio	índice de sitio (m)
I	3.84-3.59
II	3.34-3.09
III	3.09-2.84
IV	2.59-2.34
V	2.09-1.84

I,II,III,IV,V=valores de calidad de sitio; I=mayor valor de calidad de sitio y V menor valor de calidad.

Las curvas de crecimiento (Figura 2.2.) no han llegado a una asíntota, en estudios que incluyen arbolado adulto, las curvas alcanzan una asíntota en arbolado adulto, como en los estudios elaborados por Aguilar y Aguilar (1991), Benavides y Manzanilla (1993) y Quiñones y Ramírez (1998).

Conclusiones y recomendaciones

Los resultados obtenidos del presente trabajo permiten concluir:

- a) El modelo Scumacher fue el más apropiado para describir el crecimiento en altura de la regeneración de *Pinus rudis* para las condiciones de las regiones bajo estudio.
- b) El método de la curva guía es adecuado para la construcción de curvas de índice de sitio ya que de una sola ecuación, se pueden generar diferentes curvas de crecimiento en altura.
- c) Los modelos Chapman-Richards, Weibull, Logístico y Gompertz pueden utilizarse dada la similitud en los estadísticos de validación.

Concluído el trabajo se recomienda:

- a) Validar en campo los modelos estadísticos recomendados y seleccionar el que mejor represente la calidad e índice de sitio.
- c) Utilizar los resultados obtenidos en el presente trabajo como punto de referencia en los planes de manejo y aprovechamiento de la región estudiada.

- d) Emplear diferentes metodologías de construcción de curvas de calidad de sitio como diferencia algebraica y predicción de parámetros, con la finalidad de determinar que procedimientos anamórficos o polimórficos se ajustan a las condiciones del área de estudio.

Literatura citada

- Aguilar R., M. y S. Aguilar S. 1991. Determinación de la calidad de estación en los bosques de la comunidad indígena, de Nuevo San Juan Parangaricutiro, Michoacán. *Ciencia Forestal* 16(69):34-57.
- Alder, D. 1980. Estimación del volumen forestal y predicción del rendimiento, con referencia especial a los trópicos Vol. 2. Predicción del rendimiento. FAO. Montes. Estudio 22/2. Roma. 118 p.
- Benavides S., J de D. 1993. Estimación de índices de sitio en bosques de coníferas. INIFAP. Folleto Técnico N° 1. Guadalajara, Jalisco. 20 p.
- Benavides S., J de D. y H. Manzanilla B. 1993. Estimación de la calidad de sitio mediante índices de sitio de *Pinus michoacana cornuta* Martínez y *Pinus oocarpa* Schiede, para el A D F Tapalpa, Estado de Jalisco. *Ciencia Forestal*. 18(74):120-138.
- Bruce, D. y F. X. Schumacher. 1965. Medición Forestal. Ed. Herrero. S.A. México. 474 p.
- Campos, A., J.J. 1990. Asociación de índice de sitio con variables ambientales. En: Manejo y aprovechamiento de plantaciones forestales con especies de uso múltiple. Acta reunión IUFRO. Centro Agronómico tropical de Investigación y enseñanza, CATIE. Guatemala. Pp. 367-386.
- CETENAL. 1976. Carta de uso del suelo. G14C56. Galeana. Escala 1:50,000. SPP. México.

CETENAL. 1977. Carta topográfica. G14C56. Galeana. Escala 1:50,000. SPP. México.

CETENAL. 1977a. Carta topográfica. G14C35. San Antonio de las Alazanas. Escala 1: 50,000. SPP. México.

CETENAL. 1977b . Carta edafologica. G14C35. San Antonio de las Alazanas. Escala 1: 50,000. SPP. México.

CETENAL-UNAM. 1970. Carta de climas. 14R-VII. Monterrey, N.L. Escala 1:500,000.

Clutter, J.L., J.C. Fortson, L.V., Pienaar, J.H. Bristery, R.L. Balley. 1983. Timber management a quantitative approach. John Wiley and Sons. New York. 333 p.

Daniel, T .W., J. A. Helms y F.S. Baker,. S 1982. Principios de silvicultura. Macgraw-Hill. México. 493 p.

DETENAL. 1977. Carta edafológica. G14C56. Galeana. Escala 1:50,000. SSP. México.

DETENAL. 1978. Carta geológica. G14C56. Galeana. Escala 1:50,000. SPP. México.

DETENAL. 1979. Carta uso del suelo. G14C35. San Antonio de las Alazanas. Escala 1:50,000. SPP. México.

DGMAF. 1985. Estudio dasonómico corregido y ajustado, de la propiedad privada "Rancho San José de la Joya, lotes 3-18" Municipio de Galeana, N.L.

Draper, N. R. y H. Smith. 1981. Applied regresion analysis. Segunda edición. Wiley. Series in Probability and mathematical Statistics. USA. 709 p.

Fierros, A. y H. Ramírez. 1990. Índice de sitio para *Pinus caribaea* var. *hondurensis* en "La Sabana", Oaxaca, México. En: manejo y aprovechamiento de plantaciones forestales con especies de uso múltiple. Acta reunión IUFRO. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CATIE. Guatemala. Pp. 459-471.

Freud, R.J. y R.C. Littell. 1991. SAS system for regression. Segunda edición. SAS Series in Statistical aplication. SAS institute. N.C., USA. 210 p.

García, E. 1981. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Koppen. Tercera Edición. Editorial Larios. México. 71 p.

Gómez G., A., D. Chávez O. y S.D. Sánchez A. 1992. Relación entre algunas condiciones edáficas y topográficas con el crecimiento de *Pinus hartwegii*. Agrociencia. Serie recursos naturales renovables. 2(2): 47-57.

González L., H. D. y C. Flores L. 1999. Índices de calidad de sitio para regeneración de *Pinus rudis* Endl. de la región de San José de la Joya, Galeana. N.L. Foresta-AN. Nota Técnica No. 2. UAAAN. Saltillo, Coahuila, México. 12 p.

Hocker Jr., H.W. 1984. Introducción a la biología forestal. A.G.T. Editor. México, D.F. 446 p.

- INEGI. 1983. Síntesis geográfica de Coahuila. SPP. Dirección General de Geografía. México. 163 p.
- Jiménez P., J. (sin fecha). Análisis troncal: una metodología para determinar el crecimiento e incremento en especies de clima templado. Un ejemplo con *Pinus pseudostrobus* Lindl. Universidad Autónoma de Nuevo León. Facultad de Ciencias Forestales. Linares, Nuevo León., México. 40 p.
- Klepac, D. 1976. Crecimiento e incremento de árboles y masas forestales. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 365 p.
- Quiñones, A. C. y H. Ramírez, M. 1998. Evaluación de la calidad de sitio y del efecto de la densidad en bosques de *Pinus cooperi* del Estado de Durango. Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente. 4(2): 311-314.
- Martínez, M. 1992. Los pinos mexicanos. Tercera Edición. Ediciones Botas. México. 361 p.
- Perry Jr., J. P. 1991. . The pines of Mexico and America Central. Timber Press. Portland, Oregon, USA. 563 p.
- Pritchett, W.L. 1986. Suelos forestales. Ed. Limusa. México. 634 p.
- Ratkowsky, D. A. 1983. Nonlinear regression modeling and unified practical approach. Volume 48. Marcel Dekker. New York. 276 p.
- Rivera C., R.M. 1996. Índices de sitio para *Pinus patula* Schl. et Cham. en la región de Huayacocotla, Estado de Veracruz. Ciencia Forestal. 21(80):57-75.

Zeide, B. 1993. Analysis of growth equations. *Forest Science* 39(3): 594-616.

Zepeda B., E.M. 1990. Curvas polimórficas de índice de sitio de edad invariante para tres especies de pino del Noreste de Chihuahua. U.A.Ch. Chapingo, México. 40 p.

Zepeda B., E.M. y D.P. Rivero B. 1984. Construcción de curvas anamórficas de índice de sitio: ejemplificación del método de la curva guía. *Ciencia Forestal*. 51(9): 1-38.

CALIDAD DE SITIO A TRAVÉS DEL CRECIMIENTO ENTRE VERTICILLOS EN REGENERACIÓN DE *Pinus rudis* ENDL. EN UNA PORCIÓN DE LA SIERRA MADRE ORIENTAL

Introducción

Es difícil hacer predicciones de la calidad de sitio en rodales de edades tempranas, ya que los sistemas de clasificación de productividad son contruídos a partir de rodales maduros (Daniel *et al.*,1982). El método de crecimiento entre verticilos se ha utilizado para estimar la productividad en rodales jóvenes.

Los planes de manejo implican conocer la calidad de sitio. Por lo que si se requiere manipular o manejar la regeneración se requiere conocer la calidad de sitio. Esto obliga a estimar la calidad de sitio en la regeneración. Las metodologías como el uso del taladro de Pressler y análisis son métodos destructivos. En cambio el método de crecimiento entre verticilos no es destructivo.

Los primeros autores en utilizar el método de crecimiento entre verticilos, partieron de las premisas que al utilizar las curvas de índice de sitio, propuestas para edades maduras de arbolado, arrojaban errores considerables

cuando se deseaba clasificar por productividad árboles de edades juveniles. Proponen por lo tanto una clasificación para esta etapa de desarrollo, la cual consiste en usar el crecimiento en altura durante un período de cinco años, después de que los árboles se han establecido plenamente (Wakeley y Marrero, 1958).

El crecimiento entre verticilos también llamado crecimiento al intercepto, consiste en medir la longitud de los árboles muestra de los cinco años del crecimiento en altura después de 1.30 m, correspondiendo a un índice de sitio. Los valores de mayor longitud son los sitios de mejor calidad de sitio (Gunter, 1968; Hagglund, 1981; Pritchet, 1986, Nigh, 1996).

La medición después de la altura de pecho parte de los supuestos de que los árboles se han establecido plenamente y en cuyo caso la competencia que ocurre en etapas anteriores, comienza a disminuir. Otro aspecto es el hecho de omitir la medición de la edad, ya que se considera que no es indispensable en el método de crecimiento entre verticilos (Wakeley y Marrero, 1958).

La utilización del método de crecimiento al intercepto es de uso limitado a aquellas especies con un patrón de crecimiento anual en altura y en donde

exista una correlación positiva entre la altura en árboles jóvenes y maduros, esto con el fin de poder concatenar las calidades de sitio (Hagglund, 1981).

Cuando se presenta un crecimiento anual, se producirá un anillo anual de crecimiento, y por consiguiente, ocurre un verticilo cada año. Con base en esto diversos autores han determinado índices de sitio en rodales jóvenes, utilizando un periodo de cinco años de crecimiento entre verticilos (Wakeley. y Marrero, 1958; Gunter, 1968; Brown y Stires, 1981; Hagglund, 1981; Nigh, 1996).

Wakeley y Marrero (1958) mencionan que al utilizar el crecimiento al intercepto, inicialmente se debe de partir de los siguientes dos supuestos básicos: a) que después de que el árbol ha alcanzado la altura de pecho se pueden hacer mediciones claras y fáciles de los verticilos; y b) una vez los árboles que se ha alcanzado la altura de pecho, los mismos crecen esencialmente libres. El fundamento de este supuesto radica en que se presume que los mayores índices de competencia ocurrieron antes de que alcanzara la altura de pecho, asimismo, que la mayor incidencia de plagas y enfermedades ocurrieron antes de que alcanzara la altura de pecho.

Existen diferentes patrones de crecimiento en altura. En el género *Pinus* se manifiesta en la formación de verticilos, los cuales convergen en la circunferencia del tronco del árbol. Existen principalmente dos tipos de patrones de crecimiento en altura, fijo y fijo libre. El crecimiento fijo es característico de

latitudes más boreales, en estas condiciones los árboles presentan un periodo de latencia entre la aparición y la elongación de las unidades de crecimiento o yemas de crecimiento del tronco, es decir nuevos brotes (Daniel *et al.*, 1982). El género *Pinus* puede presentar el crecimiento fijo y libre, que corresponde a la combinación de estos dos crecimientos. El crecimiento en altura se manifiesta cuando ocurre la elongación de los brotes en primavera, llamado crecimiento fijo, seguido por uno o varios brotes de verano que corresponde al crecimiento libre, cada brote produce ramas laterales, lo que dificulta identificar el fin del crecimiento anual, dado lo anterior y bajo las condicionantes del crecimiento entre verticilos, se debe de situar a la especie en estudio en un determinado patrón de crecimiento (Daniel *et al.*, 1982). Las latifoliadas se caracterizan por presentar el crecimiento libre o indeterminado

Pinus rudis, en apariencia presenta un patrón de crecimiento anual, es decir, logra la formación de un anillo y un verticilo anual de crecimiento. La especie se distribuye en Coahuila, Tamaulipas, Nuevo León, Zacatecas, Jalisco, Michoacán, Hidalgo, Estado de México, Puebla y Oaxaca (Martínez, 1992), Veracruz, Tlaxcala, Colima, el Distrito Federal (Perry, 1991) y Chiapas (Rzedowski, 1978).

Perry (1991) reporta que esta especie se desarrolla en regiones climáticas que van de templado a condiciones frías a moderadas con precipitación de 1000 mm o más, también menciona que es una especie que se

desarrolla en altas elevaciones en rangos de 2200 a 3200 msnm; se puede encontrar en elevaciones inferiores y raramente sobre los 3300 msnm, se desarrolla en suelos bien drenados, areno gravosos e inclinados frecuentemente de origen volcánico y asociado con *Pinus montezumae*, *P. hartwegii*, *P. ayacahuite* var. *brachyptera* y *Abies* spp.

Los objetivos del presente estudio fueron : 1) determinar la calidad de sitio, a través del crecimiento entre verticilos en regeneración natural de *Pinus rudis* en una porción de la Sierra Madre Oriental y

2) comparar los índices de sitio obtenidos con análisis troncal y crecimiento entre verticilos en la misma región de estudio.

Materiales y métodos

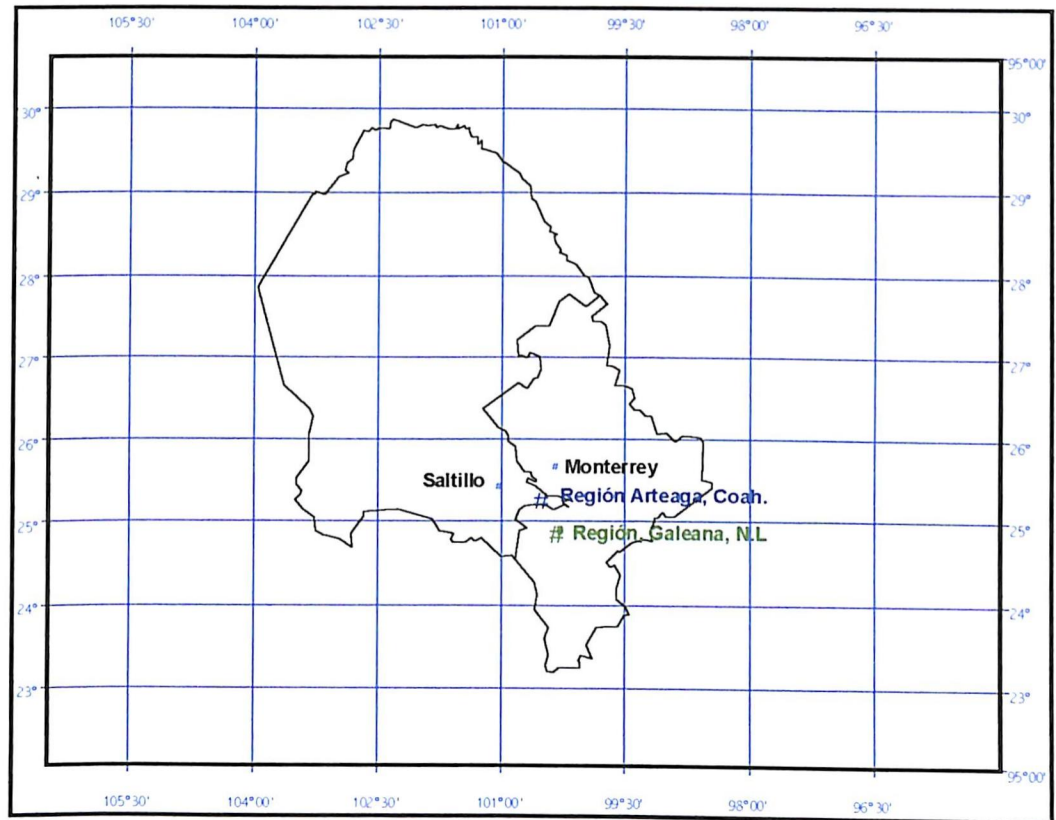
Descripción del área de estudio

Se localiza en la porción Norte de la Sierra Madre Oriental, en los límites de Coahuila y Nuevo León, comprende dos regiones, el Cerro El Potosí, Galeana, N.L., y la Sierra de San Antonio de las Alazanas, Arteaga, Coah. (Figura 3.1.).

En la región de Galeana, Nuevo León se seleccionaron 10 rodales de varios predios en las inmediaciones del Cerro El Potosí, localizados entre los meridianos $100^{\circ}13'$ y $100^{\circ}15'$ de longitud Oeste y entre los paralelos $24^{\circ}51'$ y $24^{\circ}54'$ de latitud Norte (CETENAL, 1977; SARH, 1985).

Se presenta una topografía muy accidentada con prominencia importante el Cerro El Potosí, con pendientes que varían entre 20 y 110%, con exposiciones dominantes Noreste y altitudes de 2800 a 3500 msnm (DGMAF, 1985).

BANCO DE TESIS



Áreas de estudio



Figura 3.1. Localización del área de estudio.

Para la región de Galeana Nuevo León se reporta una geología de rocas sedimentarias, calizas y lutitas (DETENAL, 1978). El suelo corresponde a los tipos de rendzina litosol con clase textural fina y litosol con clase textural fina, localizados por arriba de los 3200 msnm y rendzina con catañozem háplico con textura fina en altitudes menores (DETENAL, 1977).

Según la estación meteorológica ubicada en Galeana, Nuevo León a 1655 msnm y a la clasificación climática de Koppen modificada por García (1988), el clima predominante en el área corresponde a un clima seco a estepario, semicálido con invierno fresco. La temperatura media anual es de 14.5 °C; la media del mes más frío es de -3°C y la media del mes más caliente es de 18°C; el régimen de lluvias es de verano; la precipitación promedio anual es de 558.5 mm (CETENAL-UNAM, 1970; García, 1981). Las estaciones se ubican en menores altitudes y el área de estudio, se encuentran en mayores altitudes, por lo que se espera mayor precipitación y menor temperatura.). Las estaciones se ubican en menores altitudes y el área de estudio, se encuentran en mayores altitudes, por lo que se espera mayor precipitación y menor temperatura.

La vegetación corresponde a bosque de pino en el estrato superior y chaparral en el estrato inferior (CETENAL, 1976). Por su parte, Rzedowski (1978) la considera como un bosque de *Pinus*, su extensión es discontinua y a menudo se presenta en forma de bosques mixtos de *Quercus* y *Pinus*,

alcanzando su mayor representación en los macizos montañosos del Cerro El Potosí.

La región de San Antonio de las Alazanas se localiza en la Sierra de Arteaga, específicamente a las estribaciones de la Sierra Madre Oriental, en Arteaga, Coahuila, localizado entre los meridianos $100^{\circ} 26'$ y $100^{\circ} 33'$ de longitud Oeste y entre los paralelos $25^{\circ} 15'$ y $25^{\circ} 20'$ de latitud Norte (CETENAL, 1977a; INEGI, 1983).

Las altitudes del área van de 3000 a 3300 msnm. En la zona predominan estratos plegados de calizas, la orografía está constituida por sistemas de topoformas llamadas sierras de pliegue, flexionadas, bajadas con sierras y valle intermontano con orientación Este a Oeste y Noreste a Sureste, con pendientes fuertes que se encuentran entre los rangos de 10 a 70% (CETENAL, 1977a; INEGI, 1983).

Las rocas son de tipo calizas sedimentarias (CETENAL, 1977b; INEGI, 1983). Los suelos dominantes son someros de origen residual y textura media. Estos suelos se asocian con rendzinas que son suelos más profundos y de color oscuro, así como con regosoles calcáreos que son suelos de color claro, profundos y de textura media. Todos los suelos están limitados por una fase física, ya sea gravosa, pedregosa o petrocálcica (CETENAL, 1977b; INEGI, 1983).

Según la estación meteorológica ubicada en San Antonio de las Alazanas Coahuila a 2138 msnm y a la clasificación climática de Koppen modificada por García (1981), el clima predominante en el área corresponde a un clima templado, húmedo y subhúmedo con lluvias escasas todo el año, verano fresco y largo, muy extenso, la temperatura media anual es de 12.7°C, la del mes más frío es de -8°C y la del mes más caliente es de 18°C, la precipitación media anual de 498 mm; los meses más lluviosos corresponden a julio y agosto, con escasez de lluvia en invierno.

El tipo de vegetación del estrato arbóreo corresponde principalmente a asociaciones de *Pinus-Abies*, *Pinus-Abies-Pseudotsuga* y *Abies Pseudotsuga*, en algunas porciones corresponde a rodales puros de *Pinus rudis* (DETENAL, 1979).

Diseño de muestreo y selección de rodales

Para la selección de los rodales se consideró utilizar rodales puros con regeneración de *Pinus rudis*, dichos rodales presentan edades que van de 11 a 28 años, con alturas que variaron entre 3.6 y 7.7 metros, con un diámetro promedio a 1.30 m, de 10 centímetros. Se recurrió a las Unidades de Conservación y Desarrollo Forestal de la región para revisar los antecedentes de las áreas de estudio. Con la finalidad de eficientar las labores de

reconocimiento e identificación de los rodales, se apoyó en el personal técnico, fotografías aéreas pancromáticas escala 1:75,000, cartas topográficas G14C35 y G14C56 escala 1:50,000 y mapas de las áreas de los programas de manejo. Se seleccionaron 15 rodales, 10 en el área de Galeana, Nuevo León y 5 en la región de Arteaga, Coahuila.

Identificadas las áreas con arbolado en etapas juveniles de desarrollo, éstas se ubicaron y se rodalizaron, con el propósito de que cada área quedara ubicada en las cartas y fotografías aéreas, (para una mejor distribución de las unidades de muestreo), dicho material fue proporcionado por las unidades de manejo forestal de las regiones bajo estudio

Posteriormente, se hicieron recorridos de campo con el fin de comprobar la selección de los mejores sitios de muestreo ya que los rodales o sitios seleccionados, deben de estar bajo competencia y por lo tanto, la atención se hizo hacia aquellos individuos dominantes y/o codominantes.

Se utilizó el diseño de muestreo estratificado sistemático considerando el estrato a aquellas áreas con diferencia en fisiografía, (altitud, pendiente, exposición) y que se encontrara la especie *Pinus rudis*, se seleccionaron un mínimo de cuatro árboles dominantes y/o codominantes por cada rodal. González y Flores (1999) señalan que un tamaño de muestra para condiciones de regeneración y área de estudio similar, utilizando la asignación Neyman es

de dos a siete árboles por rodal, para obtener una precisión en altura de 0.65 m. En trabajos similares Ferre *et al.* (1958) seleccionaron 9 árboles, Gunter (1968) seleccionaron 2 individuos, Brown y James (1981) seleccionaron de 3 a 5 árboles, y Nigh (1996) seleccionó 3 árboles, en todos los casos se utilizaron árboles dominantes y/o codominantes libres de daños físicos, mecánicos, y de plagas y enfermedades.

Selección y medición de arbolado

Con la finalidad de cubrir los rangos de variación en cuanto a diferencias en las características fisiográficas (altitud, exposición y pendiente), se seleccionaron 64 árboles de *Pinus rudis*, con un mínimo de cuatro árboles dominantes y/o codominantes por cada rodal, sin daño físico o mecánico, libres de plagas y enfermedades (Klepac, 1976), además de considerar la clasificación silvícola de la edad y vigor de árboles según clasificación de Keen (Hocker, 1984), distribuidos en los 15 rodales seleccionados del área de estudio,

La mayoría de las especies de coníferas tienen como característica principal la formación de anillos anuales concéntricos, pero esto no está establecido en todas las especies del género *Pinus*. Para saber si *Pinus rudis* presenta crecimiento fijo, se extrajeron dos rodajas, una antes y otra después de un verticilo, después de 1.30 m. Después se pulieron dichas rodajas para

aclarar los anillos de crecimiento y contarlos. La diferencia del conteo de la rodaja antes y después del verticilo, debe de ser de un anillo, si ésto se cumple se pudiera considerar que se forma un anillo por cada verticilo anual de crecimiento.

Se obtuvieron los valores de altura total y se hizo una correlación con la longitud de los cinco verticilos medidos en el mismo árbol, con la finalidad de ver en que medida los verticilos constituyen parte de la altura de los árboles, ya qué debe de existir correlación positiva entre estas dos variables (Wakeley y Marrero, 1958).

Autores como Wakeley y Marrero (1958), Hagglund (1981) y Nigh (1996), han encontrado resultados satisfactorios midiendo cinco verticilos. Considerando lo anterior se midieron, con flexómetro, cinco verticilos anuales después de 1.30 metros (Figura 3.2).

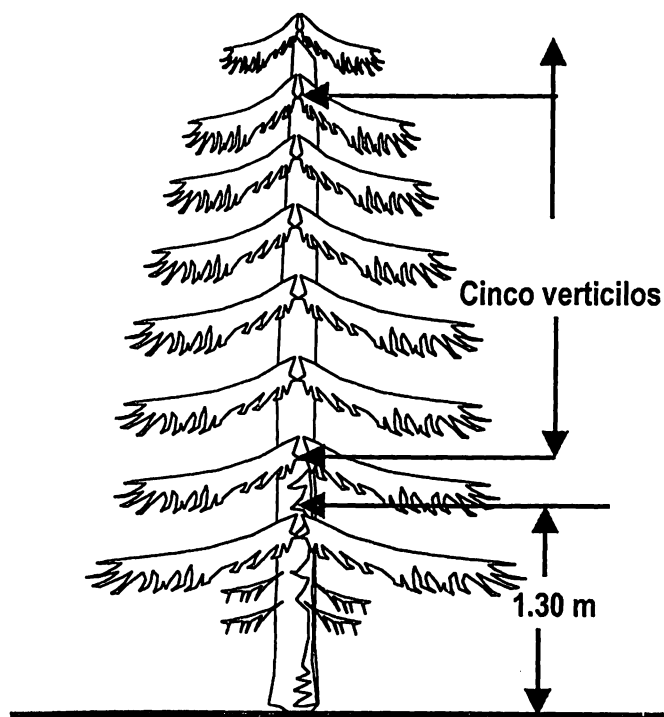


Figura 3.2. Esquema del método del crecimiento entre verticilos

Comparación de metodologías crecimiento entre verticilos y análisis troncal

Se estimó la calidad de sitio mediante análisis troncal, a través del método de la curva guía siguiendo la metodología de Zepeda y Rivero (1984) y crecimiento entre verticilos, mediante la metodología de Wakeley y Marrero (1958). La determinación de la calidad de sitio, se hizo en los mismos rodales seleccionados. Con el propósito de poder tener un punto de comparación con la nueva metodología propuesta de crecimiento entre verticilos, se hizo una correlación con las calidades de estación y los índices de sitio determinados por medio de crecimiento entre verticilos y análisis troncal.

Los valores correspondientes de I, II, III, IV y V, son las calidades de sitio, donde I es el valor más alto de calidad e índice de sitio y V es la calidad más pobre.

Resultados y discusión

Comprobación del crecimiento anual para *Pinus rudis* Endl.

Los rodales seleccionados, presentan edades que van de 11 a 28 años, con alturas que variaron entre 3.6 y 7.7 metros, con un diámetro promedio a 1.30 m, de 10 centímetros.

Se extrajeron 30 pares de rodajas de dos verticilos a partir de la altura de 1.30 metros, de los cuales 28 presentaron diferencia de un anillo de crecimiento y en dos rodajas presentaron el mismo número de anillos. Lo anterior se puede atribuir a que los árboles pudieran haber sufrido algún estrés consecuencia de la influencia de los factores ambientales. Las condiciones adversas o favorables del clima puede originar que se formen anillos falsos de crecimiento o en otros casos dos anillos de crecimiento en un mismo año, que se puede manifestar de igual manera en la formación de dos verticilos (Klepac, 1976).

Se cumplió el primer supuesto de que el crecimiento entre verticilos se debe aplicar en aquellas especies de coníferas con crecimiento fijo, por lo que se deduce que anualmente se forma un verticilo anual. Dado lo anterior es posible emplear la metodología propuesta, ya que se presenta un crecimiento fijo que es requisito fundamental para aplicar el método de crecimiento entre

verticilos (Wakeley y Marrero, 1958; Hagglund, 1980). Además de que es fácil la identificación y medición de los cinco verticilos.

En el caso de que sea difícil la identificación de los verticilos anuales se puede emplear la metodología propuesta por Nigh (1996), el cual aplicó el análisis troncal como alternativa para emplear el crecimiento entre verticilos, la metodología permite identificar a qué altura se forman los cinco años de crecimiento y considerar dicha altura como la altura de los cinco años de crecimiento.

Correlación entre altura total y longitud de los cinco entre verticilos

Se presentó una correlación positiva de 0.65 ($P= 0.04$), entre los valores de altura total y la longitud de los cinco verticilos, a partir de 1.30 metros. Se cumple otra condicionante del método crecimiento al intercepto, al existir una relación entre altura y longitud de los cinco verticilos. La longitud de los cinco verticilos constituye una porción considerable de la altura total de los rodales (Wakeley y Marrero, 1958)

Calidad de sitio por crecimiento entre verticilos

Se determinaron cinco clases de calidad e índice de sitio, a una equidistancia 0.23 m entre clases, con lo anterior se cubrieron los rangos de

variación de la calidad de sitio a través del método crecimiento entre verticilos
(Cuadro 3.1.)

Cuadro 3.1. Valores de calidad e índice de sitio del crecimiento entre verticilos de la regeneración de *Pinus rudis*.

CALIDAD DE SITIO	INDICES DE SITIO (metros)
I	> 2.08
II	1.84-2.08
III	1.60-1.84
IV	1.36-1.60
V	<1.36

I, II, III, IV, V=Valores de calidad de sitio.

El número de clases de calidad de sitio es variable. En estudios similares Gunter (1968) determinó clases de calidad de sitio para 18 rodales obteniendo valores de calidad de sitio de 13.7 a 18.2 m, con diferencia de clases de 1.5 m entre cada calidad de sitio. Brown y James (1981) determinaron seis clases de calidad de sitio a una equidistancia de 0.5 metros. Ferre y Stone (1981) determinaron nueve clases de calidad de sitio a una equidistancia de 0.30 m. Nigh (1996), por su parte, obtuvo índices de sitio a diferente edad para alcanzar 1.30 m de 1 a 30 años obteniendo índices de sitio para este rango de edad.

Los índices de sitio determinados en los 15 rodales de *Pinus rudis*, varían en un rango de 1.12-2.32 m, comparado con el de Ferre *et al.* (1958) en *Pinus*

resinosa de 0.9-3.35 m, en otro estudio Gunter (1968) en la especie de *Pinus resinosa* determinó valores de 1.37 a 2.13 m, Brown y Stires (1981) en *Pinus strobus* de 2.5-5 m, los índices de sitio en apariencia no son similares pero se encuentran dentro de los rangos que se han empleado en diversos trabajos.

Los valores de índice de sitio encontrados en este estudio son similares a los encontrados por Gunter (1968), la variabilidad de los valores es posible, ya que los estudios que anteceden a este estudio, fueron aplicados en plantaciones con especies diferentes al presente estudio, el crecimiento propio de cada especie es diferente lo cual se manifiesta en que sean diferentes los índices de sitio determinados.

Las plantaciones pueden tener ventajas en el crecimiento en altura, en comparación con la regeneración natural, debido a que una vez que se logra establecer la regeneración en los rodales naturales, ocurre una rápida invasión de vegetación competitiva, a diferencia de las plantaciones donde generalmente se elimina la vegetación competitiva (Newton y Hanson, 1998).

La determinación de la calidad de sitio para el presente estudio, fue de mayor facilidad además de que no fue necesario el ajuste y la aplicación de modelos estadísticos. Es una metodología confiable ya que permite la clasificación de sitios por productividad en forma rápida, no se requiere la determinación de la edad, ya sea por medio de taladro Pressler o por análisis troncal, tampoco el trazo de curvas de calidad de sitio.

Las metodologías del taladro Pressler y el análisis troncal son destructivas y requieren de mayor tiempo, cosa que no sucede en la metodología del crecimiento entre verticilos.

Comparación de calidad e índice de sitio del crecimiento entre verticilos y análisis troncal

Las calidades de sitio por las metodología de crecimiento entre verticilos y análisis troncal Cuadro 3.2. En la mayoría de los rodales la calidad de sitio es similar.

Cuadro 3.2. Calidad e índice de sitio de los rodales seleccionados con las metodologías análisis troncal y crecimiento entre verticilos para regeneración de *Pinus rudis*.

Rodal	IS (AT) m	IS (CI) m	CS (AT)	CS (CI)
1	5.9	1.94	II	I
2	5.7	1.84	III	II
3	4.4	1.72	III	II
4	5.9	2.07	II	II
5	4.6	1.53	IV	III
6	4.9	1.77	III	III
7	4.7	1.98	II	II
8	5.3	2.32	I	I
9	4.4	1.96	II	II
10	4.5	1.47	IV	IV
11	5.2	1.55	IV	III
12	5.0	1.60	IV	III
13	4.3	1.57	IV	IV
14	3.9	1.12	V	IV
15	4.7	1.64	III	III

IS(AT)=Índice de sitio del análisis troncal; IS(CI)=Índice de sitio del crecimiento entre verticilos; CS(AT)=Calidad de sitio determinada por análisis troncal; CS(CI)=Calidad de sitio determinada por crecimiento entre verticilos.

Se encontró que existe una correlación significativa positiva de 0.65, ($P=0.04$), entre los índices de sitio, 0.86 ($P=0.001$), entre las calidades de sitio, determinadas por crecimiento entre verticilos y análisis troncal.

Además existe una correlación entre la longitud de los cinco entre verticilos y los índices de sitio determinados por la altura total de los árboles dominantes. Lo anterior indica que la longitud de los verticilos constituye una porción importante de la altura total, por lo cual se deduce que la calidad de sitio determinada es confiable (Wakeley y Marrero, 1956).

Gunter (1968) determinó índices de sitio por medio del método crecimiento entre verticilos y por relaciones de edad y altura, en plantaciones de *Pinus resinosa*, encontró valores similares de calidad de sitio en ambas metodologías, lo cual indica que la metodología del crecimiento entre verticilos tiene mayores ventajas, ya que se tienen valores similares de calidad de sitio, en menor tiempo, con mayor facilidad.

Nigh (1996) hizo una relación entre los índices de sitio determinados por análisis troncal y por medio del crecimiento al intercepto (entre verticilos) en rodales jóvenes de *Tsuga heterophylla*, encontró relaciones altas entre los índices de sitio y deduce que la metodología del crecimiento es más flexible y confiable.

Conclusiones y recomendaciones

Los resultados obtenidos de calidad de sitio del presente trabajo, permiten derivar las siguientes conclusiones:

- a) La especie *Pinus rudis* presentó un patrón de crecimiento fijo en altura.
- b) Los resultados de este estudio indican que la longitud de los cinco entre verticilos después de 1.30 m pueden ser usados para la determinación de la calidad de sitio en rodales jóvenes de *Pinus rudis*.

Concluído el trabajo se recomienda:

- a) Aplicar los resultados del presente estudio en condiciones similares de la misma región y en arbolado joven menor a 30 años.
- b) Probar esta metodología en diferentes especies y áreas en futuros trabajos.
- c) Determinar el número mínimo de verticilos a medir para estimar la calidad de sitio.

d) Al aplicar el método de crecimiento al intercepto y en condiciones similares de la misma región, no aplicar el análisis troncal, ya que se forma un anillo de crecimiento anual y no es necesario comprobar el crecimiento fijo para *Pinus rudis*.

Literatura citada

Brown, J.H y J. L. Stires. 1981. A modified growth intercept method for predicting site index in young white pine stands. Forest Science. 27(1): 162-166.

CETENAL. 1976. Carta de uso del suelo. G14C56. Galeana.. Escala 1:50,000. SPP. México.

CETENAL. 1977. Carta topográfica. G14C56. Galeana. Escala 1:50,000. SPP. México.

CETENAL. 1977a. Carta topográfica. G14C35. San Antonio de las Alazanas. Escala 1: 50,000. SPP. México.

CETENAL. 1977b . Carta edafológica. G14C35. San Antonio de las Alazanas. Escala 1: 50,000. SPP. México.

Daniel, T. W., A.J. Helms y F. S. Baker. 1982. Principios de silvicultura. Ed. McGraw-Hill. México. 493 p.

DETENAL. 1977. Carta edafológica. G14C56. Galeana Escala 1:50000. SPP. México.

DETENAL. 1978. Carta geológica. G14C56. Galeana. Escala 1:50000. SPP. México.

DETENAL. 1979. Carta uso del suelo. G14C35. San Antonio de las Alazanas. Escala 1:50000. SPP. México.

DGMAF. 1985. Estudio dasonómico corregido y ajustado, de la propiedad privada "Rancho San José de la Joya, lotes 3-18" Municipio de Galeana, N.L.

Ferre, M.J., T.D. Shearer y E. L. Stone. 1958. A method of evaluating site quality in young red pine plantations. *Journal of Forestry*. 56(5): 328-331.

Fierros, A., y H. Ramírez. 1990. Índice de sitio para *Pinus caribaea* var. *hondurensis* en "La sabana", Oaxaca, México. En: manejo y aprovechamiento de plantaciones forestales con especies de uso múltiple. Acta reunion IUFRO. Centro Agrónomico tropical de Investigación y enseñanza, CATIE. Guatemala. Pp. 459-471.

García, E. 1981. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Tercera Edición. Editorial Larios. México. 71 p.

González, L., H. D. 1999. Índices de calidad de sitio para regeneración de *Pinus rudis* Endl. de la región de San José de la Joya, Galeana, N.L. Foresta-AN. Nota Técnica No. 2. UAAAN. Saltillo, Coahuila, México. 12 p.

Gunter, J.E. 1968. Site index for released red pine plantations by the modified. *Journal of Forestry*. 66(11): 862-863.

Hocker Jr., H.W. 1984. Introducción a la biología forestal. A.G.T. Editor. México, D.F. 446 p.

Hagglund, B. 1981. Evaluation of forest site productivity. *Forestry Abstracts*. 42(11): 517-527.

INEGI. 1983. Síntesis geográfica de Coahuila. SPP. Dirección General de Geografía. México. 163 p.

Klepac, D. 1976. Crecimiento e incremento de árboles y masas forestales. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 365 p.

Martínez, M. 1992. Los pinos mexicanos. 3ª. Edición. Ediciones Botas. México. 361 p.

Newton, M. y T. J. Hanson. 1998. Bias in site estimation from early competition. *Proceeding. Nineteenth annual forest vegetation management conference*. Redding, California. P 78-84.

Nigh, G:D. 1996. Growth intercept models for species Without distinct annual branch whorls: Western hemlock. *Canadian Journal of Forest research* . 26: 1407-415.

Perry Jr., J.P. 1991. The pines of México and America Central. Timber Press. Portland, Oregon. USA. 563 p.

Pritchett, W.L. 1986. Suelos Forestales. Ed. Limusa. México. 634 p.

Rzedowski. 1978. Vegetación de México. Ed. Limusa México. 432 p.

Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH). 1985. Jefatura del Programa Forestal. Estudio dasonómico corregido y ajustado, de la propiedad privada "Rancho San José de la Joya, lotes 3-18" Municipio de Galeana, N.L.

Wakeley, P.C. y J. Marrero. 1958. Five-year intercept as site index in southern pine plantations. *Journal of forestry*. 58(5): 332-336.

Zepeda B., E.M. y D.P. Rivero B. 1984. Construcción de curvas anamórficas de índice de sitio: ejemplificación del método de la curva guía. *Ciencia Forestal*. 51(9): 1-38.

CALIDAD DE SITIO Y SU ASOCIACIÓN CON VARIABLES FISIOGRAFICAS Y DE SUELO DE LA REGENERACIÓN DE *Pinus rudis* ENDL. EN UNA PORCIÓN DE LA SIERRA MADRE ORIENTAL

Introducción

México cuenta con una superficie de bosques de 30,433,893 millones de hectáreas, de las cuales 6,300,278 hectáreas corresponden a coníferas (SARH, 1994), la que constituye un importante satisfactor de bienes y servicios. Sin embargo el manejo de los recursos forestales no ha sido el adecuado, ocasionando el deterioro del mismo (Flores, 1992).

Una de las principales causas del deterioro de los recursos forestales, es no contar con suficiente información sobre los factores del medio físico y de sus interrelaciones con el crecimiento de los árboles y bosques forestales, ocasionando que se tengan pocos elementos para llevar a cabo un adecuado manejo forestal (Flores, 1992; Rivera, 1996).

El interés de conocer la relación entre calidad de sitio y variables ambientales de tipo fisiográficas y edáficas, es identificar las variables que mejor expliquen la capacidad productiva del sitio, con la finalidad de contar con mayores elementos para efectuar un manejo adecuado de los recursos forestales (Madrigal, 1994).

Los estudios sobre suelos forestales son escasos pese su importancia en el crecimiento y productividad de los bosques (Campos, 1990; Flores, 1992).

Las características de fisiografía y de suelo influyen en la productividad de los bosques, ya que son características independientes y estables, además ayudan en la caracterización de los sitios y facilitan a entender la variación en el crecimiento de los árboles (Hagglund, 1981).

El análisis de componentes principales es un método de análisis multivariado que ha demostrado ser eficiente en estudios de productividad forestal, cuyo propósito es entender los factores del medio que afectan el crecimiento del sitio forestal (Campos, 1990). El método de análisis de componentes principales, consiste en generar nuevas variables que puedan explicar la información contenida en el conjunto original de los datos, reducir la dimensionalidad y eliminar algunas de las variables originales que aporten poca información (Pla, 1986).

Arteaga (1988) a través de procedimientos de regresión consideró los factores del sitio que influyen en la productividad de *Pinus patula* Schl. Et Cham., en la región de Chignahuapan, Puebla. Las principales variables asociadas al crecimiento en altura fueron la profundidad del suelo que presentó un efecto lineal positivo, la pendiente presentó el efecto lineal hasta un 25% y a partir de ahí empieza a tener un efecto curvilíneo negativo sobre el crecimiento

en altura, la posición del árbol en la pendiente tiene un efecto lineal positivo, indicando que se desarrolla mejor en lomeríos y sitios con pendiente; de igual forma se obtuvo un mayor desarrollo en exposiciones Noreste y menor en exposiciones Sur.

Arteaga *et al.* (1985) evaluaron la influencia de la exposición, la pendiente, la longitud de la pendiente, la posición de la pendiente y la profundidad del horizonte A, además la proporción de arena, limo y arcilla, el porcentaje de la materia orgánica, fósforo disponible, calcio, magnesio, potasio, aluminio e hidrógeno intercambiable, pH y conductividad eléctrica, sobre las características dasométricas como diámetro normal, altura total y volumen de los árboles en una plantación de *Pinus radiata* en Ayotoxtla, Guerrero. La altura total, el diámetro normal y volumen de los árboles disminuyeron a medida que la pendiente se incrementaba. Mientras que el pH, el porcentaje de materia orgánica, la cantidad de magnesio y la proporción de arcilla en el suelo incrementaron el valor de las características dasométricas. La cantidad de aluminio presentó un efecto negativo con las características dasométricas.

Trinidad y Ortiz (1988) estimaron la influencia de algunos factores meteorológicos sobre la productividad del género *Pinus* en México, encontraron que al aumentar la pendiente, los bosques de pino tienden a disminuir su productividad.

El presente trabajo tiene como objetivo conocer las relaciones existentes entre la calidad de sitio de la regeneración de *Pinus rudis* Endl. con algunas variables fisiográficas y edáficas en una porción de la Sierra Madre Oriental.

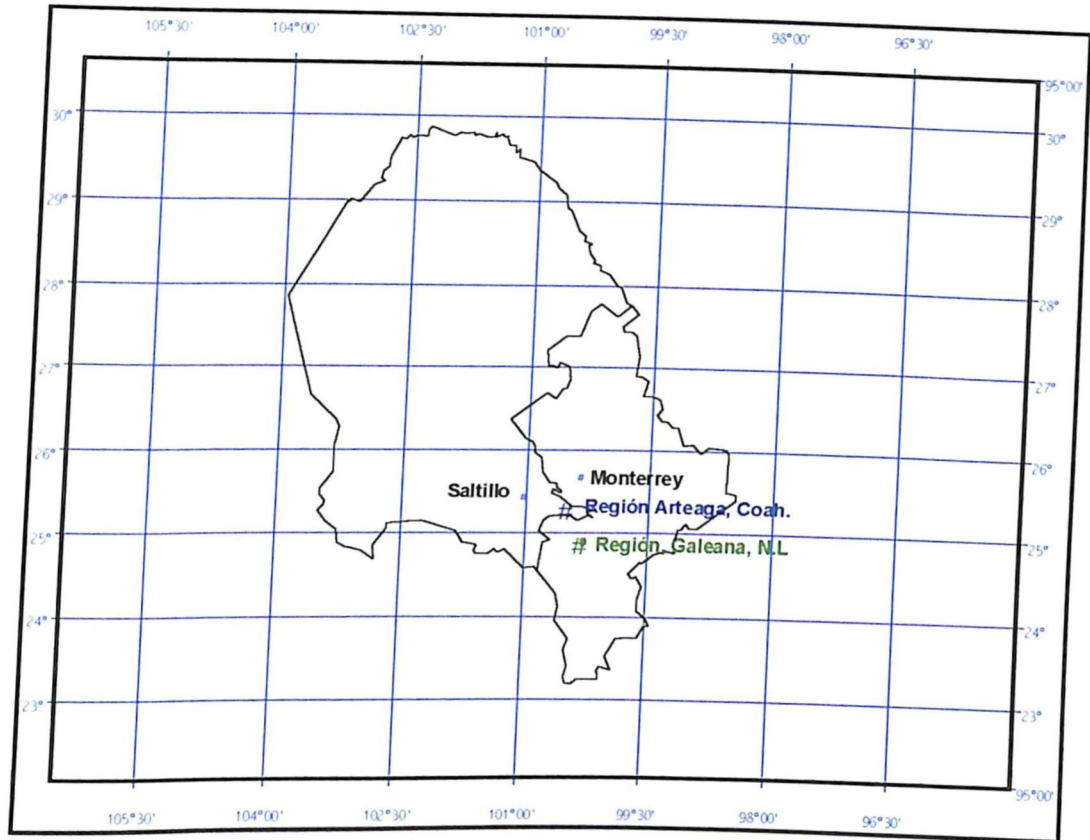
Materiales y métodos

Descripción del área de estudio

El área de estudio se localiza en la porción Norte de la Sierra Madre Oriental, en los límites de Coahuila y Nuevo León, comprende dos regiones, el Cerro El Potosí, Galeana, N.L., localizado entre los meridianos 100°13' y 100°15' de longitud Oeste y entre los paralelos 24°51' y 24°54' de latitud Norte (CETENAL, 1977; SARH, 1985) y la Sierra de San Antonio de las Alazanas, Arteaga, Coah., localizada entre los meridianos 100°26' y 100°33' de longitud Oeste y entre los paralelos 25°15' y 25°20' de latitud Norte (CETENAL, 1977; INEGI, 1983) (Figura 4.1). En el área de estudio existen rodales puros de *Pinus rudis*, distribuidos en rangos de altitud de 2800 a 3500 (CETENAL, 1979; INEGI, 1983). En el área de estudio ocurre una topografía muy accidentada con pendientes fuertes que varían entre 10 y 110% (CETENAL, 1977a; INEGI, 1983). La geología que conforman sus materiales son básicamente rocas sedimentarias, de tipo calizas y lutitas (CETENAL, 1978; INEGI, 1983). El suelo corresponde a rendzina litosol, rendzina con catañozem háplico y regosol calcárico (CETENAL, 1977; CETENAL, 1977b).

Según la estación meteorológica ubicada en Galeana, Nuevo León a 1655 metros de altitud y a la clasificación climática de Koppen modificada por

García (1988), el clima predominante en el área de Galeana, Nuevo León, corresponde a un clima seco a estepario, semicálido con invierno fresco. La temperatura media anual es de 14.5 °C; la media del mes más frío es de -3°C y la media del mes más caliente es de 18°C; el régimen de lluvias es de verano; la precipitación promedio anual es de 558.5 mm y para la región de San Antonio de las Alazanas según la estación meteorológica ubicada en San Antonio de las Alazanas, Coahuila a 2138 metros de altitud y a la clasificación climática de Koppen modificada por García (1981), el clima predominante en el área corresponde a un clima templado, húmedo y subhúmedo con lluvias escasas todo el año, verano fresco y largo, muy extremoso, la temperatura media anual es de 12.7°C, la del mes más frío es de -8°C y la del mes más caliente es de 18°C, la precipitación media anual de 498 mm; los meses más lluviosos corresponden a julio y agosto, con escasez de lluvia en invierno (CETENAL-UNAM, 1970; García, 1981). Las estaciones se encuentran a menor altitud que los puntos reales de muestreo, entonces seguramente existen mayores precipitaciones y mejores temperaturas en dichos puntos.



Áreas de estudio
#



Figura 4.1. Localización del área de estudio.

Selección de rodales

A partir de un estudio para determinar la calidad de sitio en regeneración de *Pinus rudis* en una porción de la Sierra Madre Oriental, en cuyo marco se determinó la calidad de sitio por medio del crecimiento entre verticilos, se seleccionaron 10 rodales, cinco de la región de Galeana, N.L., y cinco de la región de Arteaga, Coah. Para elegir estos rodales se consideró que fueran de diferente calidad de sitio, procurando cubrir la mayor amplitud en productividad.

Medición de variables dasométricas, fisiográficas y de suelo

En los 10 rodales seleccionados en los cuales se determinó la calidad de sitio, se obtuvo información fisiográfica, como la altitud, la ubicación geográfica, la exposición (Apéndice 3), la pendiente, además el grosor del mantillo orgánico (GM) y la profundidad del suelo (PROF). Se midió la pedregosidad en rangos de cobertura (COB), de acuerdo con Siebe *et al.* (1996) (Apéndice 4), Asimismo, se extrajeron 10 muestras de suelo, en cada rodal seleccionado. A cada muestra se determinó el porcentaje de materia orgánica incorporada (MO), el fósforo (P), el potencial de hidrógeno (pH), el porcentaje de arena (ARE), arcilla (ARC), y limo (LI), además la densidad aparente (DA) y la densidad real (DR).

Selección de rodales

A partir de un estudio para determinar la calidad de sitio en regeneración de *Pinus rudis* en una porción de la Sierra Madre Oriental, en cuyo marco se determinó la calidad de sitio por medio del crecimiento entre verticilos, se seleccionaron 10 rodales, cinco de la región de Galeana, N.L., y cinco de la región de Arteaga, Coah. Para elegir estos rodales se consideró que fueran de diferente calidad de sitio, procurando cubrir la mayor amplitud en productividad.

Medición de variables dasométricas, fisiográficas y de suelo

En los 10 rodales seleccionados en los cuales se determinó la calidad de sitio, se obtuvo información fisiográfica, como la altitud, la ubicación geográfica, la exposición (Apéndice 3), la pendiente, además el grosor del mantillo orgánico (GM) y la profundidad del suelo (PROF). Se midió la pedregosidad en rangos de cobertura (COB), de acuerdo con Siebe *et al.* (1996) (Apéndice 4), Asimismo, se extrajeron 10 muestras de suelo, en cada rodal seleccionado. A cada muestra se determinó el porcentaje de materia orgánica incorporada (MO), el fósforo (P), el potencial de hidrógeno (pH), el porcentaje de arena (ARE), arcilla (ARC), y limo (LI), además la densidad aparente (DA) y la densidad real (DR).

Análisis estadístico de las variables fisiográficas y de suelo

El conjunto de los datos fisiográficos, así como los datos de suelo se utilizaron para realizar un análisis de componentes principales, con el propósito de explicar la calidad de sitio en función de un menor número de variables, así como solucionar a priori el hecho de que algunas variables se correlacionan entre ellas mismas (Campos, 1990). Se eligió un número de componentes que explicaran al menos el 70% de la variabilidad total y cuyo valor propio (eigenvalue) de los componentes fuese mayor de 0.7, de acuerdo con lo sugerido por Gómez *et al.* (1992). En cada componente se identificaron las principales variables originales que le dieron origen y con las cuales existe la mayor correlación.

Se graficó en un eje cartesiano, cada uno de los componentes seleccionados. Se graficó en el eje de las Y el componente uno y en el eje de las X los componentes dos, tres y cuatro respectivamente. Después el eje de las X se utilizó para los índices de sitio del método crecimiento entre verticilos y de igual forma para los índices de sitio del método de análisis troncal, en el eje de las Y para cada componente principal elegido.

Resultados y discusión

En el análisis de componentes principales se observó que los cuatro primeros componentes (Comp1, Comp2, Comp3 y Comp4) de las variables fisiográficas y edáficas, explican en un 83% la variabilidad total de los datos (Cuadro 4.1), el resto de la variabilidad (17%) se explica por los demás componentes. En lo que respecta a los valores propios (eigenvalues) de los componentes seleccionados fueron mayor de 0.7, lo anterior según lo sugerido por Gómez *et al.* (1992).

Cuadro 4.1. Valores propios (eigenvalores) y varianza acumulada de los componentes principales y variables fisiográficas y de suelo del método crecimiento entre verticilos.

Componente	Eigenvalue	Proporción de varianza explicada (%)	VA(%)
Comp1	5.08	36	36
Comp2	3.16	22	58
Comp3	1.71	12	71
Comp4	1.67	11	83

Comp1=Componente principal uno; Comp2=Componente principal dos;
Comp3=Componente principal tres; Comp4=Componente principal cuatro;
VA=Varianza acumula en porcentaje.

Las variables más asociadas al primer componente (Comp1) corresponden a algunas características de suelo. La materia orgánica incorporada (MO) y la proporción de arena (ARE) se correlacionan con el Comp1 de manera negativa (-0.9 y 0.67, respectivamente); mientras que la proporción de arcilla (ARC), densidad aparente (DA) y cobertura de piedra (COB) se correlacionan en forma positiva con el Comp1 ($0.76 \leq r \leq 0.85$) (Cuadro 4.2).

Con respecto al segundo componente la altitud (ASNM) y el grosor del mantillo orgánico (GM) se correlacionan con el Comp2 de manera negativa (0.61 y -0.70), la exposición (EXP), pH del suelo (pH) y pendiente (PEND) se correlaciona de manera positiva con el Comp2 ($0.53 \leq r \leq 0.65$) (Cuadro 4.2).

Para el caso del tercer componente, el fósforo disponible (P) se correlaciona en forma positiva (0.57) con el Comp3.

En el componente cuatro, el porcentaje de arena (ARE) se correlaciona con el Comp4 negativamente (-0.54), el porcentaje de limo (LI) y la profundidad del suelo se correlacionan con el Comp4 positivamente (0.73 y 0.65 respectivamente) (Cuadro 4.2).

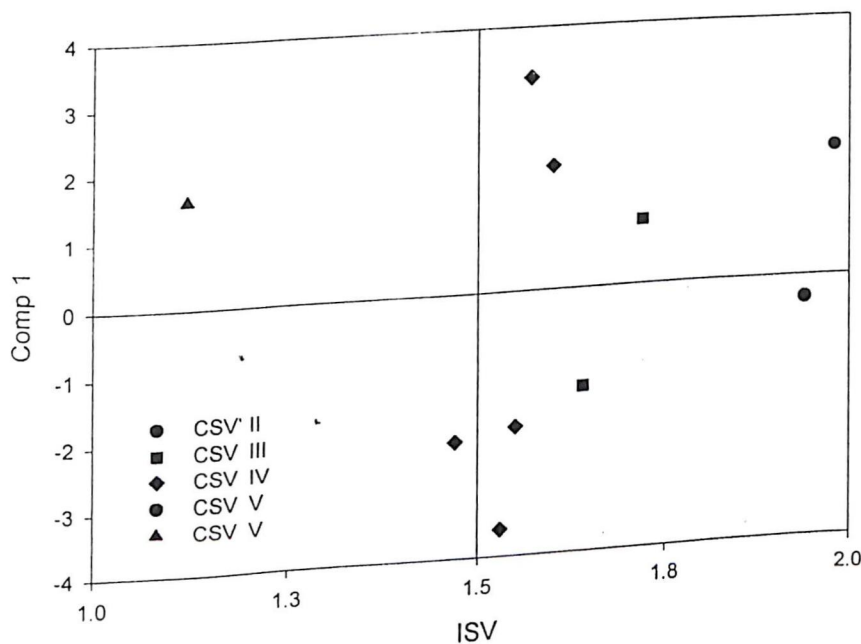
La variable densidad real (DR) no se considera ya que presenta poca correlación en los cuatro componentes seleccionados, de esta manera se reduce la dimensión de las variables involucradas (Pla, 1986).

Cuadro 4.2. Valores de correlación entre los componentes y las variables fisiográficas y de suelo del método crecimiento entre verticilos en rodales de *Pinus rudis* ENDL. de una porción de la Sierra Madre Oriental.

Variable	Comp1	Comp2	Comp3	Comp4
ASNM	-0.58	-0.61	-0.09	-0.38
EXP	0.49	0.65	0.22	0.05
PEND	-0.42	0.60	0.48	0.16
GM	0.18	-0.70	0.33	0.01
COB	0.76	0.40	0.16	0.14
MO1	-0.9	0.07	0.07	0.12
P	0.33	0.53	0.57	-0.30
pH	-0.11	0.63	-0.6	0.11
ARE	-0.67	0.10	0.27	-0.54
ARC	0.85	0.01	-0.41	-0.009
LI	-0.40	-0.37	0.27	0.73
DA	0.83	-0.35	-0.14	0.12
DR	0.24	-0.24	-0.03	0.16
PROF	-0.51	0.35	-0.22	0.65

Comp1=Componente principal uno; Comp2=Componente principal dos; Comp3=Componente principal tres; Comp 4=Componente principal cuatro; ASNM=Altitud; EXP=exposición; PEN=pendiente; COB=pedregosidad en rangos de cobertura; GM=Grosor de mantillo orgánico; MO=materia orgánica incorporada; P= fósforo; pH=potencial de hidrógeno; ARE=porcentaje de arena; ARC=porcentaje de arcilla; LI=porcentaje de limo; DA=densidad aparente; DR=densidad real; PROF=profundidad del suelo.

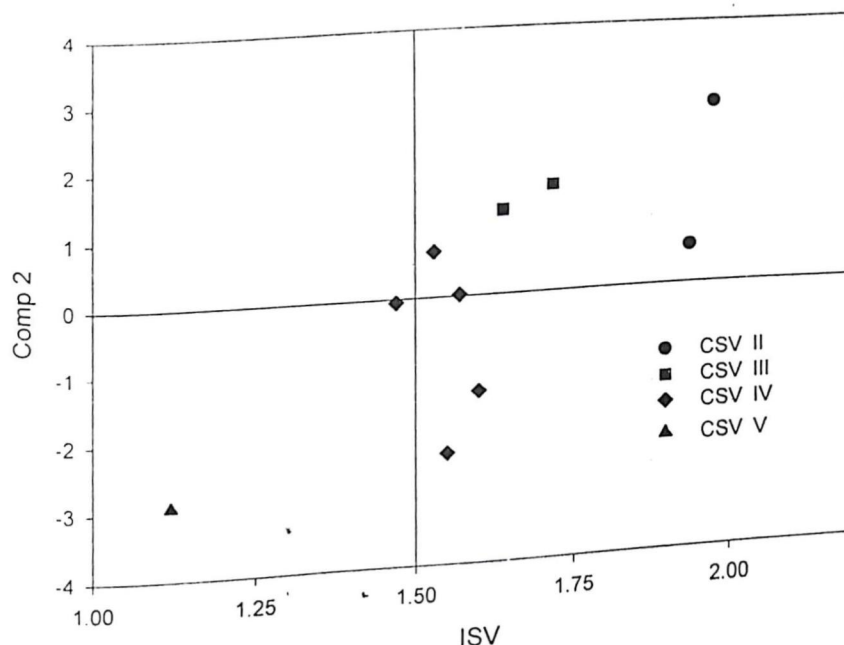
No se encontró tendencia de agrupación al utilizar en el eje de las X, el índice de sitio determinado a través del método de análisis troncal y en el eje de las Y los componentes seleccionados (Comp1, Comp2, Comp3, comp4), solo se encontró en el análisis gráfico del componente 1 (Comp1) con los valores de índice de sitio del método de crecimiento entre verticilos (ISV). Se observa que para una misma calidad de sitio existen valores mayores y valores menores del Comp1, como se aprecia para las calidades de sitio 2, 3 y 4 (Figura 4.2). Lo anterior es muestra que la calidad de sitio no ilustra una tendencia con las variables de dicho componente (MO, ARC, DA, COB y ARE).



II, III, IV, V=valores de calidad de sitio, ISV=índice de sitio, del crecimiento entre verticilos.

Figura 4.2. Componente 1 e índice de sitio de los 10 rodales seleccionados de la regeneración de *Pinus rudis*.

En la Figura 4.3 se puede observar que existe una tendencia lineal del componente 2 (Comp2) y el índice sitio (IS), esto es, a medida que el Comp2 aumenta su valor el IS aumenta, lo cual significa que las mejores calidades de sitio se presentan a medida que aumenta el valor de pH del suelo (pH), pendiente (PEND) y la exposición (EXP) se hace más Sur, así como a medida que disminuyen los valores del espesor del mantillo orgánico (GM) y la altitud (ASNM) el índice de sitio aumenta.



II, III, IV, V=valores de calidad de sitio, ISV=índice de sitio, del crecimiento entre verticilos.

Figura 4.3. Componente 2 e índice de sitio de los 10 rodales seleccionados de la regeneración de *Pinus rudis*.

Flores (1992) encontró una correlación positiva al relacionar las variables de índice de sitio con el pH del suelo en *Pinus durangensis*. Por su parte Arteaga (1985) al relacionar el pH con la altura total de *Pinus radiata*,

encontró relaciones positivas. Los dos autores atribuyen que el efecto positivo de la correlación se puede explicar en términos de la relación de la acidez del suelo con la disponibilidad de algunos nutrientes. El pH desempeña un papel importante en la disponibilidad de nutrientes, ya que a valores altos o bajos de acidez los elementos pudieran convertirse en tóxicos y no disponibles para los árboles (Madrigal, 1995). Los valores sobre los cuales el pH no influye de manera importante en el crecimiento de los árboles es de 4.0 a 6.5 (Spurr y Barnes, 1982; Prittchet, 1986).

Si se analizan los valores originales de pH en el área bajo estudio, los valores cercanos a 7.0 presentaron mejores índices de sitio, lo anterior se puede deber a que la especie de *Pinus rudis* no tolera condiciones de acidez, sino que se desarrolla mejor hacia un pH neutro. Los suelos neutros, dado su origen geológico, son ricos en calcio por lo que provocan que el mantillo sea neutro o ligeramente básico (Spurr y Barnes, 1982).

Es difícil hacer predicciones con respecto al pH, sobre el crecimiento de los árboles, ya que refleja tanto propiedades químicas de la porción mineral como propiedades químicas de la materia orgánica (Prittchet, 1986).

El espesor del mantillo orgánico (GM) tiende a disminuir cuando el índice de sitio aumenta (Figura 4.3.), lo anterior tiene relación con las condiciones de pH, ya que *Pinus rudis*, en la región estudiada, en apariencia crece mejor en suelos básicos. Por otra lado, la actividad microbiana en la descomposición de

la materia orgánica, principalmente celulosa, disminuye a pH menores de 5.5 y es mayor en suelos ligeramente alcalinos o cercanos a 7.0 (Prittchet, 1986), por lo que se asume que se da buena incorporación de nutrientes producto de la descomposición de la materia orgánica.

Las mejores calidades de sitio se encuentran en aquéllos sitios con menor altitud (Figura 4.3.). Lo anterior se debe a que a mayores altitudes existe menor profundidad del suelo y menor disponibilidad de nutrientes, debido a las condiciones climáticas (principalmente menor temperatura y menor disponibilidad de humedad), por lo que se pudiera presentar reducción en el crecimiento en altura. Resultados similares encontraron Castaños (1962) y Gómez *et al.* (1992).

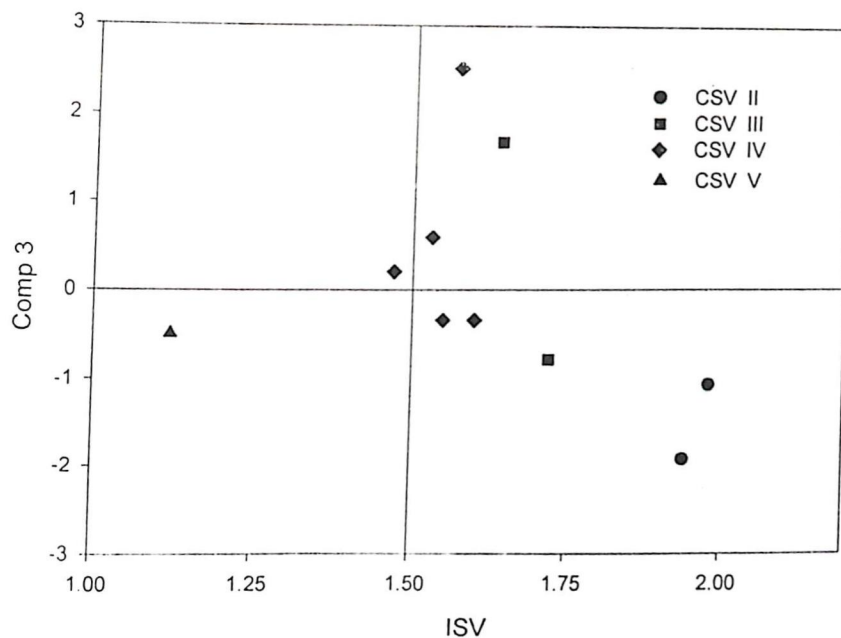
En lo referente a la exposición, los mejores sitios se localizan en exposiciones Norte, que es donde ocurren los mayores crecimientos, ya que la temperatura y el crecimiento están fuertemente afectados por la intensidad de la radiación solar, para la región bajo estudio las exposiciones al Norte conservan mayor cantidad de humedad que ocasiona mayor crecimiento en altura.

En lo que respecta a la pendiente no existe correlación alta. El componente dos lo considera de manera negativa, estos resultados contrastan a los expuestos por Gómez *et al.* (1992), ya que al aumentar las pendientes se encuentra una mejor calidad de sitio, menor profundidad del suelo y por consiguiente, se tendrá menor disponibilidad de humedad, lo anterior se puede

atribuir a que la pendiente no interactúa por si sola, sino que se relaciona estrechamente con la exposición y altitud (Campos, 1990). Ya que si se considera que en el Hemisferio Norte las exposiciones Sur reciben la mayor cantidad de radiación solar que las laderas con exposición Norte (Spurr y Barnes, 1982).

En el análisis gráfico del componente 1 (Comp1) con los valores de índice de sitio (IS), se observa que para una misma calidad de sitio existen valores mayores y valores menores del Comp1, como se nota para las calidades de sitio 2, 3 y 4 (Figura 4.2). Lo anterior es muestra que la calidad de sitio no muestra una tendencia con las variables de dicho componente (MO, ARC, DA, COB y ARE).

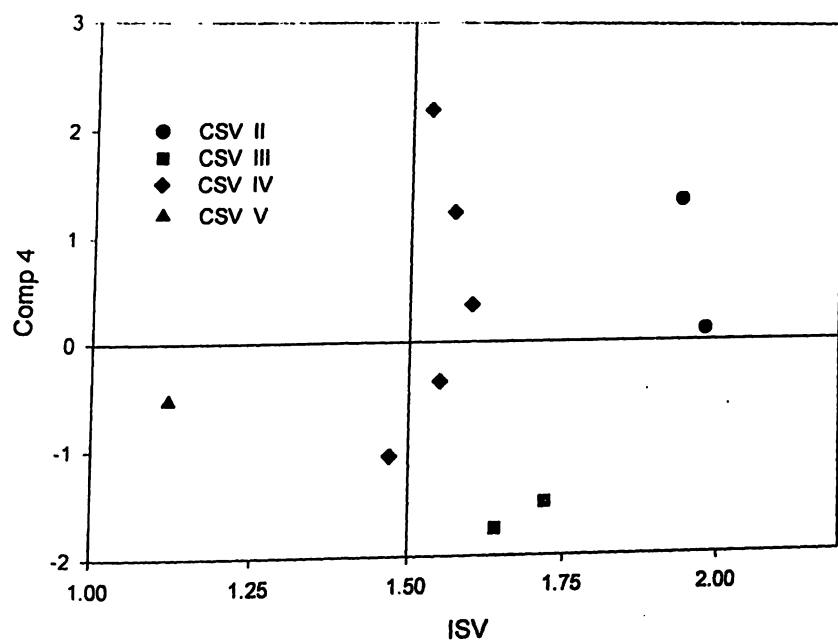
En la Figura 4.4 se puede observar que existe una tendencia lineal del componente 3 (Comp3) y el índice sitio (IS), esto es, a medida que el Comp3 aumenta su valor el IS disminuye, lo cual significa que las mejores calidades de sitio se presentan a medida que disminuye el valor del fósforo disponible (P) a excepción de la calidad de sitio tres y cinco. En la calidad de sitio tres se observa que para una misma calidad de sitio existen valores mayores y valores menores del Comp3. En lo referente a la calidad de sitio cinco se encuentra alejada y no sigue la tendencia de las demás calidades de sitio (2,3 y 4) y dada su posición cuando aumentan los valores del Comp3 disminuye su valor de índice de sitio (Figura 4.4).



II, III, IV, V=valores de calidad de sitio, ISV=índice de sitio, del crecimiento entre verticilos.

Figura 4.4. Componente 3 e índice de sitio de los 10 rodales seleccionados de la regeneración de *Pinus rudis*.

El análisis gráfico del componente 4 (Comp4) con los valores de índice de sitio (IS), muestra que para una misma calidad de sitio existen valores mayores y valores menores del Comp4, como se nota para las calidades de sitio 2, 3 y 4 (Figura 4.5). Lo anterior muestra que la calidad de sitio no presenta una tendencia con las variables de dicho componente (PROF y ARE).



II, III, IV, V=valores de calidad de sitio, ISV=índice de sitio, del crecimiento entre verticilos.

Figura 4.5. Componente 4 e índice de sitio de los 10 rodales seleccionados de la regeneración de *Pinus rudis*.

Conclusiones y recomendaciones

a) El análisis de componentes principales facilitó el entendimiento de las relaciones entre las variables del sitio y el crecimiento de *Pinus rudis*. La exposición, altitud, pendiente, pH y espesor de la materia orgánica, mostraron ser las variables más relacionadas con la calidad de sitio.

Concluido el trabajo se recomienda:

b) En posteriores estudios aumentar el tamaño de muestra, ya que en el presente estudio que incluyó únicamente 10 sitios de muestreo y se presentaron bajas relaciones de las variables fisiográficas y de suelo, además, poca asociación de las variables con la calidad de sitio.

Literatura citada

- Arteaga, M.B. 1988. Factores del sitio que influyen en la productividad de *Pinus patula* Schl. Et Cham., en la región de Chignahuapan-Zacatalan, Puebla. Agrociencia. Mexico. 72:121-131.
- Arteaga, M.B., J.D Etcheres y V. Volke, H 1985. Influencia de las cacterísticas fisiográficas y edáficas en el crecimiento de *Pinus radiata* D. Don en Ayototxtla, Guerrero. Agrociencia. Mexico. 60:109-121.
- Campos, A., J.J. 1990. Asociación de índice de sitio con variables ambientales. En: Manejo y aprovechamiento de plantaciones forestales con especies de uso múltiple. Acta reunión IUFRO. Centro Agronómico tropical de Investigación y enseñanza, CATIE. Guatemala. Pp. 367-386.
- Castaños, M., L.J. 1962. Evaluación de la calidad de estación de pinus patula en el norte de Oaxaca. INIF. Bol. Tec.Núm. 2. México 32 p.
- CETENAL. 1976. Carta de uso del suelo. G14C56. Galeana. Escala 1:50,000. SPP. México.
- CETENAL. 1977. Carta topográfica. G14C56. Galeana. Escala 1:50,000. SPP. México.
- CETENAL. 1977a. Carta topográfica. G14C35. San Antonio de las Alazanas. Escala 1: 50,000. SPP. México.
- CETENAL. 1977b. Carta edafologica. G14C35. San Antonio de las Alazanas. Escala 1: 50,000. SPP. México.
- CETENAL-UNAM. 1970. Carta de climas. 14R-VII. Monterrey. Escala 1:500,000.
- Daniel, T. W., A., J. Helms y F. S. Baker. 1982. Principios de silvicultura. De. McGraw-Hill. México. 493 p.

- DETENAL. 1977. Carta edafológica. G14C56. Galeana. Escala 1:50,000. SSP. México.
- DETENAL. 1978. Carta geológica. G14C56. Galeana. Escala 1:50,000. SPP. México.
- DETENAL. 1979. Carta uso del suelo. G14C35. San Antonio de las Alazanas. Escala 1:50,000. SPP. México.
- Flores, R. N. 1992. Suelo-calidad de estación en el área experimental forestal maderera, Chihuahua. *Ciencia Forestal*. 17(71):3-26.
- García, E. 1981. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Tercera Edición. Editorial Larousse. México. 71 p.
- Gómez G., A., D. Chávez O. y S.D. Sánchez A. 1992. Relación entre algunas condiciones edáficas y topográficas con el crecimiento de *Pinus hartwegii*. *Agrociencia*. Serie recursos naturales renovables. 2(2): 47-57.
- Hagglund, B. 1981. Evaluation of forest site productivity. *Forestry Abstracts*. 42(11): 517-527.
- INEGI. 1983. Síntesis geográfica de Coahuila. SPP. Dirección General de Geografía. México. 163 p.
- Madrigal, H.S. 1995. Determinación de la productividad de dos especies de pino considerando características físicas y químicas del suelo, en Michoacán. Tesis profesional. Universidad Autónoma Chapingo, México. 115 p.
- Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH). 1985. Jefatura del Programa Forestal. Estudio dasonómico corregido y ajustado, de la propiedad privada "Rancho San José de la Joya, lotes 3-18" Municipio de Galeana, N.L.

- Spurr, S.H. y B.U. Barnes. 1982. Ecología forestal. AGT. Editor México. 690 p.
- Pla, L.A. 1986. Análisis multivariado: método de componentes principales. Secretaría General de la Organización de los Estados Americanos. Programa Regional de Desarrollo Científico y Tecnológico. Washington, D.C. 91 P.
- Pritchett, W.L. 1986. Suelos Forestales. Ed. Limusa. México. 634 p.
- Trinidad, H.A y C.A Ortiz, S. 1988. Estimación de la influencia de algunos factores meteorológicos sobre la productividad del Género *Pinus* en México. Agrociencia. México. 72:229-244.
- Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH). 1994. Subsecretaría Forestal y de fauna Silvestre. Inventario Nacional Periodico periodo 1992-1994. México, D.F.
- Siebe C., R. Jahn y K. Stahr. 1996. Manual para la descripción y evaluación ecológica de suelos en el campo. Publicación especial 4. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C. Chapingo México 57 p.
- Spurr, S.H. y B.U. Barnes. 1982. Ecología forestal. AGT. Editor México. 690 p.
- Zepeda B., E.M. y D.P. Rivero B. 1984. Construcción de curvas anamórficas de índice de sitio: ejemplificación del método de la curva guía. Ciencia Forestal. 51(9): 1-38.

DISCUSIÓN

El modelo seleccionado para la construcción de la curva de ajuste del crecimiento en altura, fue el modelo de Schumacher. Este modelo presentó los menores valores en cuadrado medio del error (CME) (0.7448), coeficiente de variación (CV) (0.3274). Asimismo, presentó el mayor valor de coeficiente de determinación (R^2) (0.9343). La distribución de los residuales fue de manera uniforme. Los modelos Chapman-Richards, Weibull, Logístico y Gompertz también pueden ser utilizados con confianza, debido a que presentan valores de sus estadísticos (CME, CV, y R^2) cercanos al modelo de Schumacher.

Los modelos Schumacher y Chapman-Richards son los que más se han utilizado debido a sus mejores valores de ajustes. Ejemplo de ello son los trabajos de Fierros y Ramírez (1990), Gómez *et al.*, (1992), Zeide (1993) Zamudio y Ayerde (1997) y Quiñones *et al.*, (1998).

En la construcción de las curvas anamórficas, la edad base elegida fue de 10 años, que corresponde al máximo incremento medio anual (IMA) (0.34 m año^{-1}).

En la mayor parte de los estudios sobre estimación de la calidad de sitio, se han utilizado árboles adultos, cuya edad base elegida es superior a los 40 años (Benavides y Manzanilla, 1993; Quiñones *et al.*, 1998), en dichos estudios

la edad base elegida considera el incremento medio anual en altura, que corresponde a un valor cercano al turno técnico. Lo anterior hace que exista una marcada diferencia al comparar la edad base de arbolado adulto y regeneración (Rivero y Zepeda, 1984).

A partir de la curva guía, se obtuvieron cinco curvas anamórficas de índice y calidad de sitio utilizando el modelo de Schumacher.

Se puede notar que la equidistancia entre, entre una y otra calidad de sitio, es de 0.5 m. a una edad base de 10 años.

Fierros y Ramírez (1990) determinaron una equidistancia de 3 metros a una edad base de 15 años para una plantación comercial de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, en La Sabana, Oaxaca. La edad base estimada de 15 años, considerando el máximo incremento medio anual en altura (IMA), es muy cercana a la determinada en este trabajo para *Pinus rudis*, que fue de 10 años.

El valor similar de la edad base se debe a que el crecimiento en altura es distinto para las dos especies, *Pinus caribaea*, es de rápido crecimiento y alcanza valores de índice de sitio de 12 a 21 metros a la edad base de 15 años (Fierros y Ramírez, 1990), comparados con *Pinus rudis* de 1.84 a 3.84 m, a una edad base de 10 años. En *P. caribaea* esta edad base corresponde a un tiempo de aprovechamiento, mientras que en *P. rudis* es un tiempo para los primeros aclareos en regeneración.

Las curvas de crecimiento no han llegado a una asíntota, en estudios que incluyen arbolado adulto, las curvas alcanzan una asíntota en arbolado adulto, como en los estudios elaborados por Aguilar y Aguilar (1991), Benavides y Manzanilla (1993) y Quiñones y Ramírez (1998).

En el caso de la comprobación del crecimiento anual para *Pinus rudis* Endl. se extrajeron 30 pares de rodajas de dos verticilos a partir de la altura de 1.30 metros, de los cuales 28 presentaron diferencia de un anillo de crecimiento y en dos rodajas presentaron el mismo número de anillos. Lo anterior se puede atribuir a que los árboles pudieran haber sufrido algún estrés consecuencia de la influencia de los factores ambientales. Las condiciones adversas o favorables del clima puede originar que se formen anillos falsos de crecimiento o en otros casos dos anillos de crecimiento en un mismo año, que se puede manifestar de igual manera en la formación de dos verticilos (Klepac, 1976).

Se cumplió el primer supuesto de que el crecimiento entre verticilos se debe aplicar en aquellas especies de coníferas con crecimiento fijo, por lo que se deduce que anualmente se forma un verticilo anual. Dado lo anterior es posible emplear la metodología propuesta, ya que se presenta un crecimiento fijo que es requisito fundamental para aplicar el método de crecimiento entre verticilos (Wakeley y Marrero, 1958; Hagglund, 1980). Además de que es fácil la identificación y medición de los cinco verticilos.

En el caso de que sea difícil la identificación de los verticilos anuales se puede emplear la metodología propuesta por Nigh (1996), el cual aplicó el análisis troncal como alternativa para emplear el crecimiento entre verticilos, la metodología permite identificar a qué altura se forman los cinco años de crecimiento y considerar dicha altura como la altura de los cinco años de crecimiento.

La altura total y longitud de los cinco entre verticilos presentaron una correlación positiva de 0.65 ($P= 0.04$), entre los valores de altura total y la longitud de los cinco verticilos, a partir de 1.30 metros. Se cumple otra condicionante del método crecimiento al intercepto, al existir una relación entre altura y longitud de los cinco verticilos. La longitud de los cinco verticilos constituye una porción considerable de la altura total de los rodales (Wakeley y Marrero, 1958)

Se determinaron cinco clases de calidad e índice de sitio, a una equidistancia 0.23 m entre clases, con lo anterior se cubrieron los rangos de variación de la calidad de sitio a través del método crecimiento entre verticilos.

El número de clases de calidad de sitio es variable. En estudios similares Gunter (1968) determinó clases de calidad de sitio para 18 rodales obteniendo valores de calidad de sitio de 13.7 a 18.2 m, con diferencia de clases de 1.5 m entre cada calidad de sitio. Brown y James (1981) determinaron seis clases de calidad de sitio a una equidistancia de 0.5 metros. Ferre y Stone (1981)

determinaron nueve clases de calidad de sitio a una equidistancia de 0.30 m. Nigh (1996), por su parte, obtuvo índices de sitio a diferente edad para alcanzar 1.30 m de 1 a 30 años obteniendo índices de sitio para este rango de edad.

Los índices de sitio determinados en los 15 rodales de *Pinus rudis*, varían en un rango de 1.12-2.32 m, comparado con el de Ferre *et al.* (1958) en *Pinus resinosa* de 0.9-3.35 m, en otro estudio Gunter (1968) en la especie de *Pinus resinosa* determinó valores de 1.37 a 2.13 m, Brown y Stires (1981) en *Pinus strobus* de 2.5-5 m, los índices de sitio en apariencia no son similares pero se encuentran dentro de los rangos que se han empleado en diversos trabajos.

Los valores de índice de sitio encontrados en este estudio son similares a los encontrados por Gunter (1968), la variabilidad de los valores es posible, ya que los estudios que anteceden a este estudio, fueron aplicados en plantaciones con especies diferentes al presente estudio, el crecimiento propio de cada especie es diferente lo cual se manifiesta en que sean diferentes los índices de sitio determinados.

Las plantaciones pueden tener ventajas en el crecimiento en altura, en comparación con la regeneración natural, debido a que una vez que se logra establecer la regeneración en los rodales naturales, ocurre una rápida invasión de vegetación competidora, a diferencia de las plantaciones donde generalmente se elimina la vegetación competidora (Newton y Hanson, 1998).

La determinación de la calidad de sitio para el presente estudio, fue de mayor facilidad además de que no fue necesario el ajuste y la aplicación de modelos estadísticos. Es una metodología confiable ya que permite la clasificación de sitios por productividad en forma rápida, no se requiere la determinación de la edad, ya sea por medio de taladro Pressler o por análisis troncal, tampoco el trazo de curvas de calidad de sitio.

Las metodologías del taladro Pressler y el análisis troncal son destructivas y requieren de mayor tiempo, cosa que no sucede en la metodología del crecimiento entre verticilos.

Cuando se compararon las calidades de sitio por las metodologías de crecimiento entre verticilos y análisis troncal. En la mayoría de los rodales la calidad de sitio es similar.

Se encontró que existe una correlación significativa positiva de 0.65, ($P=0.04$), entre los índices de sitio, 0.86 ($P=0.001$), entre las calidades de sitio, determinadas por crecimiento entre verticilos y análisis troncal.

Además existe una correlación entre la longitud de los cinco entre verticilos y los índices de sitio determinados por la altura total de los árboles dominantes. Lo anterior indica que la longitud de los verticilos constituye una

porción importante de la altura total, por lo cual se deduce que la calidad de sitio determinada es confiable (Wakeley y Marrero, 1956).

Gunter (1968) determinó índices de sitio por medio del método crecimiento entre verticilos y por relaciones de edad y altura, en plantaciones de *Pinus resinosa*, encontró valores similares de calidad de sitio en ambas metodologías, lo cual indica que la metodología del crecimiento entre verticilos tiene mayores ventajas, ya que se tienen valores similares de calidad de sitio, en menor tiempo, con mayor facilidad.

Nigh (1996) hizo una relación entre los índices de sitio determinados por análisis troncal y por medio del crecimiento al intercepto (entre verticilos) en rodales jóvenes de *Tsuga heterophylla*, encontró relaciones altas entre los índices de sitio y deduce que la metodología del crecimiento es más flexible y confiable.

La metodología del crecimiento entre verticilos presenta pocos elementos comparativos, ya que su aplicación ha sido poca o nula en rodales naturales, además de que no se ha encontrado antecedente de ser aplicada en condiciones similares a la distribución de *Pinus rudis*.

En el análisis de componentes principales se observó que los cuatro primeros componentes (Comp1, Comp2, Comp3 y Comp4) de las variables fisiográficas y edáficas, explican en un 83% la variabilidad total de los datos, (el

resto de la variabilidad (17%) se explica por los demás componentes. En lo que respecta a los valores propios (eigenvalues) de los componentes seleccionados fueron mayor de 0.7, lo anterior según lo sugerido por Gómez *et al.* (1992).

Las variables más asociadas al primer componente (Comp1) corresponden a algunas características de suelo. La materia orgánica incorporada (MO) y la proporción de arena (ARE) se correlacionan con el Comp1 de manera negativa (-0.9 y 0.67, respectivamente); mientras que la proporción de arcilla (ARC), densidad aparente (DA) y cobertura de piedra (COB) se correlacionan en forma positiva con el Comp1 ($0.76 \leq r \leq 0.85$).

Con respecto al segundo componente la altitud (ASNM) y el grosor del mantillo orgánico (GM) se correlacionan con el Comp2 de manera negativa (0.61 y -0.70), la exposición (EXP), pH del suelo (pH) y pendiente (PEND) se correlaciona de manera positiva con el Comp2 ($0.53 \leq r \leq 0.65$).

Para el caso del tercer componente, el fósforo disponible (P) se correlaciona en forma positiva (0.57) con el Comp3.

En el componente cuatro, el porcentaje de arena (ARE) se correlaciona con el Comp4 negativamente (-0.54), el porcentaje de limo (LI) y la profundidad del suelo se correlacionan con el Comp4 positivamente (0.73 y 0.65 respectivamente).

La variable densidad real (DR) no se considera ya que presenta poca correlación en los cuatro componentes seleccionados, de esta manera se reduce la dimensión de las variables involucradas (Pla, 1986).

No se encontró tendencia de agrupación al utilizar en el eje de las X, el índice de sitio determinado a través del método de análisis troncal y en el eje de las Y los componentes seleccionados (Comp1, Comp2, Comp3, comp4), solo se encontró en el análisis gráfico del componente 1 (Comp1) con los valores de índice de sitio del método de crecimiento entre verticilos (ISV). Se observa que para una misma calidad de sitio existen valores mayores y valores menores del Comp1, como se aprecia para las calidades de sitio 2, 3 y 4. Lo anterior es muestra que la calidad de sitio no ilustra una tendencia con las variables de dicho componente (MO, ARC, DA, COB y ARE).

Existe una tendencia lineal del componente 2 (Comp2) y el índice sitio (IS), esto es, a medida que el Comp2 aumenta su valor el IS aumenta, lo cual significa que las mejores calidades de sitio se presentan a medida que aumenta el valor de pH del suelo (pH), pendiente (PEND) y la exposición (EXP) se hace más Sur, así como a medida que disminuyen los valores del espesor del mantillo orgánico (GM) y la altitud (ASNM) el índice de sitio aumenta.

Flores (1992) encontró una correlación positiva al relacionar las variables de índice de sitio con el pH del suelo en *Pinus durangensis*. Por su parte Arteaga (1985) al relacionar el pH con la altura total de *Pinus radiata*,

encontró relaciones positivas. Los dos autores atribuyen que el efecto positivo de la correlación se puede explicar en términos de la relación de la acidez del suelo con la disponibilidad de algunos nutrientes. El pH desempeña un papel importante en la disponibilidad de nutrientes, ya que a valores altos o bajos de acidez los elementos pudieran convertirse en tóxicos y no disponibles para los árboles (Madrigal, 1995). Los valores sobre los cuales el pH no influye de manera importante en el crecimiento de los árboles es de 4.0 a 6.5 (Spurr y Barnes, 1982; Prittchet, 1986).

Si se analizan los valores originales de pH en el área bajo estudio, los valores cercanos a 7.0 presentaron mejores índices de sitio, lo anterior se puede deber a que la especie de *Pinus rudis* no tolera condiciones de acidez, sino que se desarrolla mejor hacia un pH neutro. Los suelos neutros, dado su origen geológico, son ricos en calcio por lo que provocan que el mantillo sea neutro o ligeramente básico (Spurr y Barnes, 1982).

Es difícil hacer predicciones con respecto al pH, sobre el crecimiento de los árboles, ya que refleja tanto propiedades químicas de la porción mineral como propiedades químicas de la materia orgánica (Prittchet, 1986).

El espesor del mantillo orgánico (GM) tiende a disminuir cuando el índice de sitio aumenta, lo anterior tiene relación con las condiciones de pH, ya que *Pinus rudis*, en la región estudiada, en apariencia crece mejor en suelos básicos. Por otra lado, la actividad microbiana en la descomposición de la

materia orgánica, principalmente celulosa, disminuye a pH menores de 5.5 y es mayor en suelos ligeramente alcalinos o cercanos a 7.0 (Pritchet, 1986), por lo que se asume que se da buena incorporación de nutrientes producto de la descomposición de la materia orgánica.

Las mejores calidades de sitio se encuentran en aquéllos sitios con menor altitud. Lo anterior se debe a que a mayores altitudes existe menor profundidad del suelo y menor disponibilidad de nutrientes, debido a las condiciones climáticas (principalmente menor temperatura y menor disponibilidad de humedad), por lo que se pudiera presentar reducción en el crecimiento en altura. Resultados similares encontraron Castaños (1962) y Gómez *et al.* (1992).

En lo referente a la exposición, los mejores sitios se localizan en exposiciones Norte, que es donde ocurren los mayores crecimientos, ya que la temperatura y el crecimiento están fuertemente afectados por la intensidad de la radiación solar, para la región bajo estudio las exposiciones al Norte conservan mayor cantidad de humedad que ocasiona mayor crecimiento en altura.

En lo que respecta a la pendiente no existe correlación alta. El componente dos lo considera de manera negativa, estos resultados contrastan a los expuestos por Gómez *et al.* (1992), ya que al aumentar las pendientes se encuentra una mejor calidad de sitio, menor profundidad del suelo y por consiguiente, se tendrá menor disponibilidad de humedad, lo anterior se puede

atribuir a que la pendiente no interactúa por si sola, sino que se relaciona estrechamente con la exposición y altitud (Campos, 1990). Ya que si se considera que en el Hemisferio Norte las exposiciones Sur reciben la mayor cantidad de radiación solar que las laderas con exposición Norte (Spurr y Barnes, 1982).

En el análisis gráfico del componente 1 (Comp1) con los valores de índice de sitio (IS), se observa que para una misma calidad de sitio existen valores mayores y valores menores del Comp1, como se nota para las calidades de sitio 2, 3 y 4. Lo anterior es muestra que la calidad de sitio no muestra una tendencia con las variables de dicho componente (MO, ARC, DA, COB y ARE).

Existe una tendencia lineal del componente 3 (Comp3) y el índice sitio (IS), esto es, a medida que el Comp3 aumenta su valor el IS disminuye, lo cual significa que las mejores calidades de sitio se presentan a medida que disminuye el valor del fósforo disponible (P) a excepción de la calidad de sitio tres y cinco. En la calidad de sitio tres se observa que para una misma calidad de sitio existen valores mayores y valores menores del Comp3. En lo referente a la calidad de sitio cinco se encuentra alejada y no sigue la tendencia de las demás calidades de sitio (2,3 y 4) y dada su posición cuando aumentan los valores del Comp3 disminuye su valor de índice de sitio.

El análisis gráfico del componente 4 (Comp4) con los valores de índice de sitio (IS), muestra que para una misma calidad de sitio existen valores mayores y valores menores del Comp4, como se nota para las calidades de sitio 2, 3 y 4. Lo anterior muestra que la calidad de sitio no presenta una tendencia con las variables de dicho componente (PROF y ARE).

CONCLUSIÓN

El modelo Scumacher fue el más apropiado para describir el crecimiento en altura de la regeneración de *Pinus rudis* para las condiciones de las regiones bajo estudio.

El método de la curva guía es adecuado para la construcción de curvas de índice de sitio ya que de una sola ecuación, se pueden generar diferentes curvas de crecimiento en altura.

Los modelos Chapman-Richards, Weibull, Logístico y Gompertz pueden utilizarse dada la similitud en los estadísticos de validación.

La especie *Pinus rudis* presentó un patrón de crecimiento fijo en altura.

Los resultados de este estudio indican que la longitud de los cinco entre verticilos después de 1.30 m pueden ser usados para la determinación de la calidad de sitio en rodales jóvenes de *Pinus rudis*.

El análisis de componentes principales facilitó el entendimiento de las relaciones entre las variables del sitio y el crecimiento de *Pinus rudis*. La exposición, altitud, pendiente, pH y espesor de la materia orgánica, mostraron ser las variables más relacionadas con la calidad de sitio.

LITERATURA CITADA

- Aguilar R., M. y S. Aguilar S. 1991. Determinación de la calidad de estación en los bosques de la comunidad indígena, de Nuevo San Juan Parangaricutiro, Michoacán. *Ciencia Forestal* 16(69):34-57.
- Alder, D. 1980. Estimación del volumen forestal y predicción del rendimiento, con referencia especial a los trópicos Vol. 2. Predicción del rendimiento. FAO. Montes. Estudio 22/2. Roma. 118 p.
- Arteaga, M.B 1988. Factores del sitio que influyen en la productividad de *Pinus patula* Schl. Et Cham., en la región de Chignahuapan-Zacatalan, Puebla. *Agrociencia*. Mexico. 72:121-131.
- Arteaga, M.B., J.D Etcheres y V. Volke, H 1985. Influencia de las cacterísticas fisiográficas y edáficas en el crecimiento de *Pinus radiata* D. Don en Ayotxtla, Guerrero. *Agrociencia*. Mexico. 60:109-121.
- Brown, J.H y J, L. Stires. 1981. A modified growth intercep method for predicting site index in young white pine stands. *Forest Science*. 27(1): 162-166.
- Benavides S., J de D. 1993. Estimación de índices de sitio en bosques de coníferas. INIFAP. Folleto Técnico N° 1. Guadalajara, Jalisco. 20 p.
- Benavides S., J de D. y H. Manzanilla B. 1993. Estimación de la calidad de sitio mediante índices de sitio de *Pinus michoacana cornuta* Martínez y *Pinus oocarpa* Schiede, para el A D F Tapalpa, Estado de Jalisco. *Ciencia Forestal*. 18(74):120-138.
- Bruce, D. y F. X. Schumacher. 1965. *Medición Forestal*. Ed. Herrero. S.A. México. 474 p.
- Campos, A., J.J. 1990. Asociación de índice de sitio con variables ambientales. En: Manejo y aprovechamiento de plantaciones forestales con especies de uso múltiple. Acta reunión IUFRO. Centro Agronómico tropical de Investigación y enseñanza, CATIE. Guatemala. Pp. 367-386.

- Castaños, M., L.J. 1962. Evaluación de la calidad de estación de pinus patula en el norte de Oaxaca. INIF. Bol. Tec.Núm. 2. México 32 p.
- CETENAL. 1976. Carta de uso del suelo. G14C56. Galeana. Escala 1:50,000. SPP. México.
- CETENAL. 1977. Carta topográfica. G14C56. Galeana. Escala 1:50,000. SPP. México.
- CETENAL. 1977a. Carta topográfica. G14C35. San Antonio de las Alazanas. Escala 1: 50,000. SPP. México.
- CETENAL. 1977b . Carta edafologica. G14C35. San Antonio de las Alazanas. Escala 1: 50,000. SPP. México.
- CETENAL-UNAM. 1970. Carta de climas. 14R-VII. Monterrey, N.L. Escala 1:500,000.
- Clutter, J.L., J.C. Fortson, L.V., Pienaar, J.H. Bristery, R.L. Balley. 1983. Timber management a quantitative approach. John Wiley and Sons. New York. 333 p.
- Daniel, T .W., J. A. Helms y F.S. Baker,. S 1982. Principios de silvicultura. Macgraw-Hill. México. 493 p.
- DETENAL. 1977. Carta edafológica. G14C56. Galeana. Escala 1:50,000. SSP. México.
- DETENAL. 1978. Carta geológica. G14C56. Galeana. Escala 1:50,000. SPP. México.
- DETENAL. 1979. Carta uso del suelo. G14C35. San Antonio de las Alazanas. Escala1:50,000. SPP. México.
- DGMAF. 1985. Estudio dasonómico corregido y ajustado, de la propiedad privada "Rancho San José de la Joya, lotes 3-18" Municipio de Galeana, N.L.

- Draper, N. R. y H. Smith. 1981. Applied regression analysis. Segunda edición. Wiley. Series in Probability and mathematical Statistics. USA. 709 p.
- Ferre, M.J., T.D. Shearer y E. L. Stone. 1958. A method of evaluating site quality in young red pine plantations. *Journal of Forestry*. 56(5): 328-331.
- Fierros, A. y H. Ramírez. 1990. Índice de sitio para *Pinus caribaea* var. *hondurensis* en "La Sabana", Oaxaca, México. En: manejo y aprovechamiento de plantaciones forestales con especies de uso múltiple. Acta reunión IUFRO. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CATIE. Guatemala. Pp. 459-471.
- Flores, R. N. 1992. Suelo-calidad de estación en el área experimental forestal madera, Chihuahua. *Ciencia Forestal*. 17(71):3-26.
- Freud, R.J. y R.C. Littell. 1991. SAS system for regression. Segunda edición. SAS Series in Statistical application. SAS institute. N.C., USA. 210 p.
- García, E. 1981. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Tercera Edición. Editorial Larios. México. 71 p.
- Gómez G., A., D. Chávez O. y S.D. Sánchez A. 1992. Relación entre algunas condiciones edáficas y topográficas con el crecimiento de *Pinus hartwegii*. *Agrociencia. Serie recursos naturales renovables*. 2(2): 47-57.
- González L., H. D. y C. Flores L. 1999. Índices de calidad de sitio para regeneración de *Pinus rudis* Endl. de la región de San José de la Joya, Galeana, N.L. Foresta-AN. Nota Técnica No. 2. UAAAN. Saltillo, Coahuila, México. 12 p.
- Gunter, J.E. 1968. Site index for released red pine plantations by the modified. *Journal of Forestry*. 66(11): 862-863.
- Hagglund, B. 1981. Evaluation of forest site productivity. *Forestry Abstracts*. 42(11): 517-527.

- Hocker Jr., H.W. 1984. Introducción a la biología forestal. A.G.T. Editor. México, D.F. 446 p.
- INEGI. 1983. Síntesis geográfica de Coahuila. SPP. Dirección General de Geografía. México. 163 p.
- Jiménez P., J. (sin fecha). Análisis troncal: una metodología para determinar el crecimiento e incremento en especies de clima templado. Un ejemplo con *Pinus pseudostrobus* Lindl. Universidad Autónoma de Nuevo León. Facultad de Ciencias Forestales. Linares, Nuevo León., México. 40 p.
- Klepac, D. 1976. Crecimiento e incremento de árboles y masas forestales. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 365 p.
- Quiñones, A. C. y H. Ramírez, M. 1998. Evaluación de la calidad de sitio y del efecto de la densidad en bosques de *Pinus cooperi* del Estado de Durango. Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente. 4(2): 311-314.
- Madrigal, H.S. 1995. Determinación de la productividad de dos especies de pino considerando características físicas y químicas del suelo, en Michoacán. Tesis profesional. Universidad Autónoma Chapingo, México. 115 p.
- Martínez, M. 1992. Los pinos mexicanos. Tercera Edición. Ediciones Botas. México. 361.p.
- Newton, M. y T. J. Hanson. 1998. Bias in site estimation from early competition. Proceeding. Nineteenth annual forest vegetation management conference. Redding, California. P 78-84.
- Nigh, G.D. 1996. Growth intercept models for species Without distinct annual branch whorls: Western hemlock. Canadian Journal of Forest research . 26: 1407-415.
- Perry Jr., J. P. 1991. The pines of Mexico and America Central. Timber Press. Portland, Oregon, USA. 563 p.
- Pritchett, W.L. 1986. Suelos forestales. Ed. Limusa. México. 634 p.

- Pla, L.A. 1986. Análisis multivariado: método de componentes principales. Secretaría General de la Organización de los Estados Americanos. Programa Regional de Desarrollo Científico y Tecnológico. Washington, D.C. 91 P.
- Ratkowsky, D. A. 1983. Nonlinear regression modeling and unified practical approach. Volume 48. Marcel Dekker. New York. 276 p.
- Rivera C., R.M. 1996. Índices de sitio para *Pinus patula* Schl. et Cham. en la región de Huayacocotla, Estado de Veracruz. Ciencia Forestal. 21(80):57-75.
- Rivero B., D. P. y E. M. Zepeda B. 1990. Principios básicos de regulación forestal. U.A.CH. Chapingo, México. 262 p.
- Rzedowski, J. 1978. Vegetación de México. Ed. Limusa México. 432 p.
- Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH). 1985. Jefatura del Programa Forestal. Estudio dasonómico corregido y ajustado, de la propiedad privada "Rancho San José de la Joya, lotes 3-18" Municipio de Galeana, N.L.
- Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH). 1994. Subsecretaría Forestal y de fauna Silvestre. Inventario Nacional Periodico periodo 1992-1994. México, D.F.
- Secretaría del Medio ambiente Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP). 1998. Anuario estadístico de la producción forestal. México, D.F.
- SAS Institute. 1985. SAS Use's guide: statistical, Version 5 Edition. Cary, N.C. USA. 956 p.
- Schumacher, F.X. 1939. A new growth curve and its application to timber-yield studies. Journal of Forestry. 42(11): 515-527. Spurr, S.H. y B.U. Barnes. 1982. Ecología forestal. AGT. Editor México. 690 p.
- Siebe C., R. Jahn y K. Stahr. 1996. Manual para la descripción y evaluación ecológica de suelos en el campo. Publicación especial 4. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C. Chapingo México 57 p.

- Vanclay, J.K. 1994. Modelling forest growth and yield; applications to mixed tropical forest. Centre For Agriculture and Biosciences International. Wallingford, U.K. 312 p.
- Wakeley, P.C. y J. Marrero. 1958. Five-year intercept as site index in southern pine plantations. *Journal of forestry*. 58(5): 332-336.
- Zamudio S., F.J y D. Ayerde L. 1997. Modelos de crecimiento. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales*. México. 1:79-81.
- Zeide, B. 1993. Analysis of growth equations. *Forest Science* 39(3): 594-616.
- Zepeda B., E.M. 1990. Curvas polimórficas de índice de sitio de edad invariante para tres especies de pino del Noreste de Chihuahua. U.A.Ch. Chapingo, México. 40 p.
- Zepeda B., E.M. y D.P. Rivero B. 1984. Construcción de curvas anamórficas de índice de sitio: ejemplificación del método de la curva guía. *Ciencia Forestal*. 51(9): 1-38.

RESUMEN

Los objetivos del presente trabajo fueron evaluar la calidad de sitio en regeneración de rodales naturales sujetos a manejo y aprovechamiento en un bosque puro de *Pinus rudis*.

Se seleccionaron dos áreas que están sujetas a manejo y aprovechamiento, por despachos de técnicos profesionales de Arteaga, Coahuila y Galeana, Nuevo León. El trabajo comprendió la estimación de la calidad de sitio por medio de un análisis troncal de 75 árboles dominantes y/o codominantes de regeneración, se probaron modelos estadísticos de ajuste para determinar la calidad de estación e índice de sitio. Los modelos Schumacher, Chapman-Richards, Weibull, Logístico, Gompertz y Korf, se compararon mediante un análisis de varianza considerando los estadísticos como cuadrado medio residual, coeficiente de determinación, y coeficiente de variación. Se determinó la calidad de sitio por el método del crecimiento entre verticilos en las mismas áreas seleccionadas.

Se estimó la calidad e índice de sitio por ambas metodologías, posterior a esto se compararon mediante una correlación lineal.

Para explicar mejor las condiciones de diferencia de calidad de sitio, se obtuvo información de campo adicional. Para ello se registró la

exposición, la pendiente, la altitud, el grosor de mantillo orgánico y la cobertura de piedras y se extrajeron muestras de suelo considerando diferencias en la calidad de sitio, con lo que se hizo un análisis de fertilidad.

Mediante análisis de componentes principales, se relacionaron las características fisiográficas y de suelo con los índices de sitio del crecimiento entre verticilos.

Los resultados mostraron que las metodologías empleadas son factibles para estimar la calidad de sitio. En lo que se refiere al análisis troncal en la comparación de los modelos, el de Schumacher fue el de mejor ajuste por lo que fue el seleccionado para construir las curvas de crecimiento en altura dominante y determinar la calidad de sitio. Los modelos Chapman-Richards, Weibull, Logístico y Gompertz, presentaron buenos ajustes y pueden ser utilizados para determinar los índices de sitio

Con respecto a la comparación de la calidad de estación, por los métodos análisis troncal y crecimiento entre verticilos, se encontró correlación positiva fuerte de 0.88 entre calidades de sitio y de 0.65 en los índices de sitio respectivamente.

Las variables fisiográficas se relacionan de manera reducida con las características del suelo. Con el análisis de componentes principales se seleccionaron las variables físicas del sitio que contribuyeron más a explicar

la varianza total del conjunto de los datos, el segundo componente del método de crecimiento entre verticilos fue el que mejor explicó la relación de la calidad de sitio, destacando la variables, pendiente, exposición, altitud, pH y grosor de mantillo orgánico.

APÉNDICES

Cuadro A.1. Estimación de los parámetros de los modelos de crecimiento probados

Modelo	Parámetro	Estimado	Error estándar asintótico	Intervalo de confianza asintótico al 95%	
				Inferior	Superior
Schumacher 1	B0	26.07895713	13.756200505	-0.9462660909	53.104180353
	B1	-6.14158750	0.291554309	-6.71437009	-5.568804321
	k	0.44228607	0.108583747	0.2289640812	680.655608051
Schumacher 2	B0	8.22779545	0.27721408945	7.6831872988	8.772403595
	B1	10.23840832	0.44202154081	9.3700234127	11.106793237
Chapman- Richards	B	7.458871596	0.90790250214	5.6752200869	9.2425231042
	C	0.075701861	0.01999362474	0.0364226884	0.1149810332
	k	1.536525099	0.24651790322	1.0522197593	2.0208304394
Weibull	A	6.922517914	0.80940821163	5.3323667973	8.5126690311
	B	0.022912431	0.00313392257	0.0167555746	0.0290692883
	C	1.356395575	0.10622824758	1.1477011678	1.5650899813
Korf	A	2.9332	0.07658970092	2.78277	3.08370
	B	475930.0000	0.00000000000	475930.00000	475930.00000
	C	526.5800	0.00000000000	526.58000	526.58000
Logístico	A	-10.87177560	1.9382432985	-14.679619041	-7.0639321679
	B	0.03365036	0.0082146849	0.017511911	0.0497888017
	C	-11.27688772	1.8445935057	-14.900748193	-7.6530272498
Gompertz	A	6.000094522	0.28103212737	5.4479830593	6.5522059837
	B	3.372670967	0.22076151670	2.9389662344	3.8063757004
	C	0.148667928	0.01237130503	0.1243634495	0.1729724066
Lineal	A	0.098576740	0.05829284892	-0.0159445082	0.2130979885
	B	3.390000000	0.00000000000	3.3900000000	3.3900000000
	C	0.938971276	0.03662750216	0.8670134400	1.0109291122

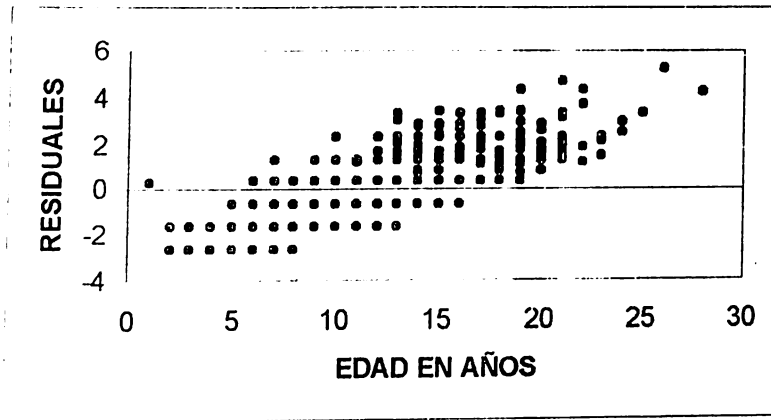


Figura A.4. Tendencia de los residuales de edad y altura Modelo Korf.

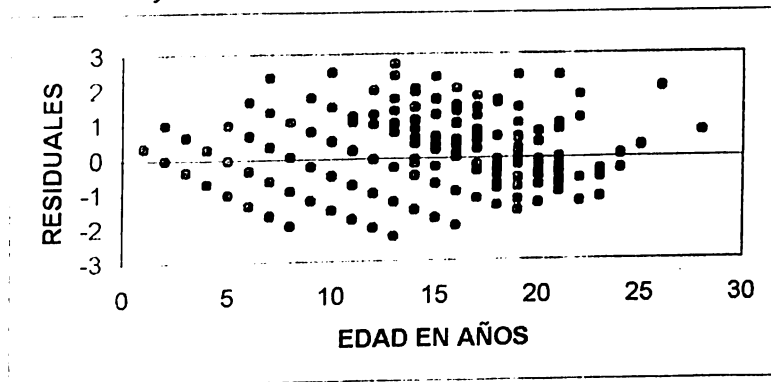


Figura A.5. Tendencia de los residuales de edad y altura Modelo Logístico.

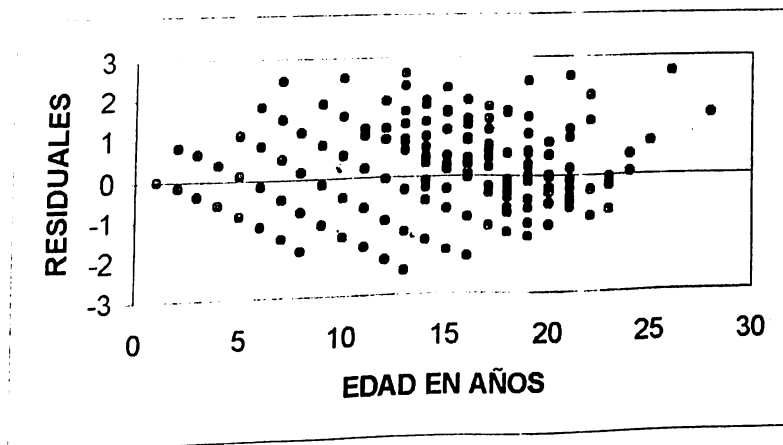


Figura A.6. Tendencia de los residuales de edad y altura modelo Gompertz

Cuadro A.3. Transformación de los datos de exposición a valores absolutos

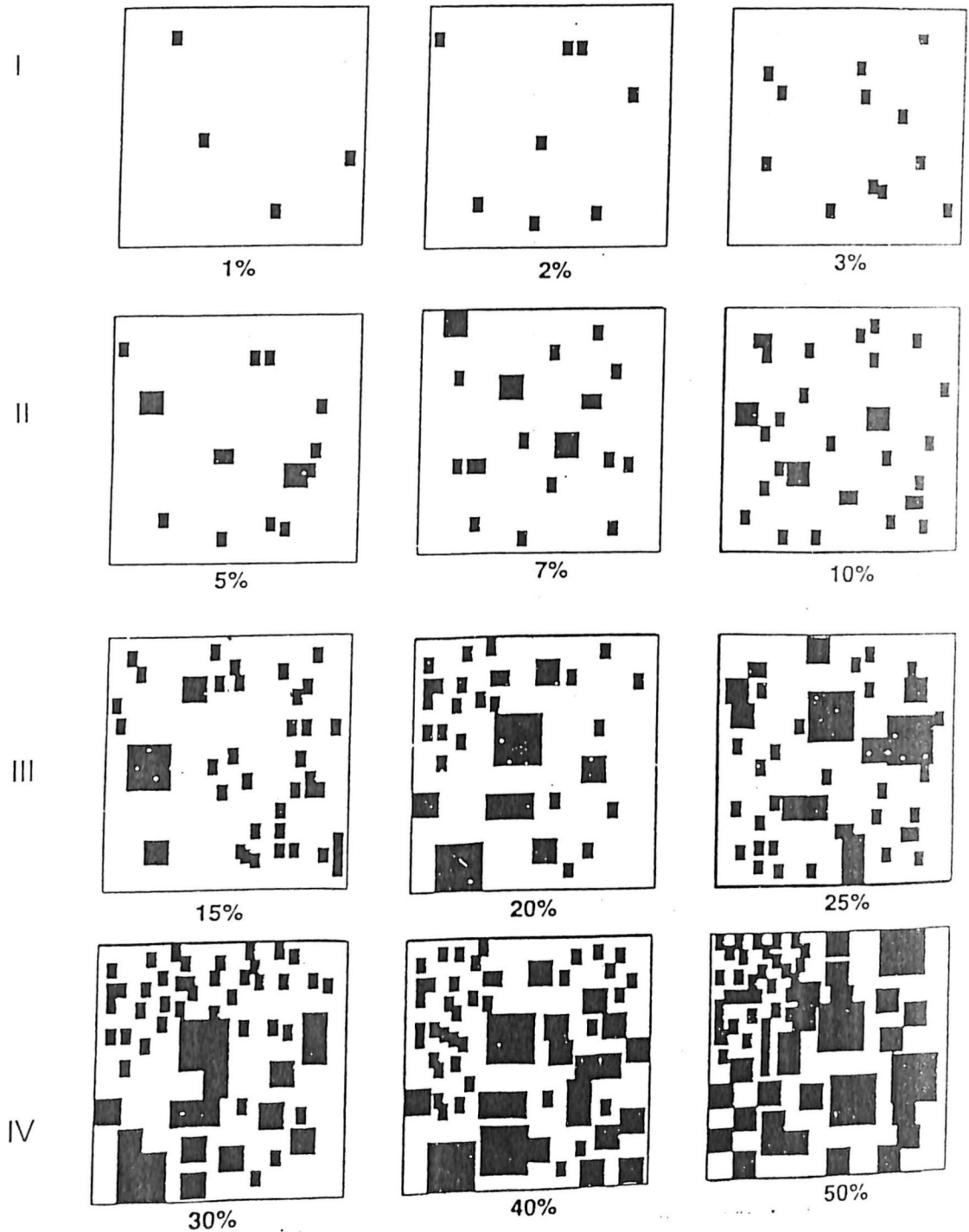
Los datos de posición topográfica o exposición se transformaron en valores absolutos de 1, 2, 3 y 4 respectivamente, considerando el azimut que se midió en campo para determinar esta variable dasométrica, los valores son los siguientes:

Valor absoluto	Azimut en grados
1	0 - 45 ^o y 315-360 ^o
2	46 – 135 ^o
3	136-225 ^o
4	225-315 ^o

Figura A.4. Rangos de cobertura de piedra

Para la variable cobertura de piedras o pedregosidad se identificaron cuatro rangos de cobertura de piedra o el cubrimiento el cubrimiento del área en volumen de los fragmentos de roca como se indica en el siguiente esquema:

Anexo Láminas comparativas para estimar el cubrimiento de área en volumen de fragmentos de roca, manchas y motas así como nódulos.



Cuadro A.5. Valores de índice de sitio

EDAD	IS1	L1	IS2	L2	IS3	L3	IS4	L4	IS5
1	0.07587	0.07093	0.06599	0.06105	0.05611	0.05113	0.04623	0.04129	0.03635
2	0.38396	0.35896	0.33396	0.30897	0.28397	0.25875	0.23398	0.20898	0.18398
3	0.80641	0.75391	0.70141	0.64891	0.59641	0.54345	0.49141	0.43891	0.38641
4	1.26646	1.184	1.10155	1.0191	0.93665	0.85347	0.77175	0.6893	0.60684
5	1.73126	1.61855	1.50583	1.39312	1.28041	1.16671	1.05499	0.94227	0.82956
6	2.1866	2.04424	1.90188	1.75953	1.61717	1.47356	1.33246	1.1901	1.04774
7	2.62636	2.45537	2.28438	2.1134	1.94241	1.76992	1.60044	1.42945	1.25846
8	3.04818	2.84973	2.65128	2.45283	2.25438	2.05418	1.85748	1.65903	1.46058
9	3.45152	3.22682	3.00211	2.7774	2.55269	2.326	2.10327	1.87856	1.65386
10	3.83675	3.58697	3.33718	3.08739	2.8376	2.58561	2.33802	2.08823	1.83845
11	4.20465	3.93091	3.65717	3.38343	3.10969	2.83354	2.56221	2.28847	2.01473
12	4.55615	4.25952	3.9629	3.66627	3.36965	3.07042	2.7764	2.47978	2.18315
13	4.89225	4.57375	4.25524	3.93674	3.61823	3.29692	2.98122	2.66271	2.34421
14	5.21398	4.87452	4.53507	4.19562	3.85617	3.51373	3.17727	2.83782	2.49836
15	5.52226	5.16274	4.80321	4.44369	4.08417	3.72148	3.36513	3.0056	2.64608
16	5.81803	5.43925	5.06048	4.6817	4.30292	3.92081	3.54536	3.16659	2.78781
17	6.1021	5.70483	5.30755	4.91028	4.51301	4.11224	3.71847	3.32119	2.92392
18	6.37525	5.9602	5.54514	5.13009	4.71503	4.29632	3.88492	3.46986	3.05481
19	6.63818	6.20601	5.77384	5.34166	4.90949	4.47351	4.04514	3.61297	3.1808
20	6.89156	6.44289	5.99422	5.54555	5.09688	4.64426	4.19954	3.75087	3.3022
21	7.13596	6.67138	6.2068	5.74222	5.27764	4.80897	4.34848	3.8839	3.41932
22	7.37196	6.89202	6.41207	5.93213	5.45218	4.96801	4.49229	4.01234	3.5324
23	7.60005	7.10525	6.61046	6.11566	5.62087	5.12172	4.63128	4.13649	3.64169
24	7.82067	7.31152	6.80236	6.2932	5.78404	5.2704	4.76572	4.25656	3.74741
25	8.03429	7.51123	6.98816	6.4651	5.94203	5.41436	4.8959	4.37283	3.84977
26	8.24128	7.70473	7.16819	6.63165	6.09511	5.55385	5.02203	4.48549	3.94894
27	8.44198	7.89237	7.34277	6.79316	6.24355	5.68911	5.14433	4.59473	4.04512
28	8.63677	8.07448	7.51219	6.9499	6.38761	5.82037	5.26303	4.70074	4.13845

Figura A.4. Rangos de cobertura de piedra

Para la variable cobertura de piedras o pedregosidad se identificaron cuatro rangos de cobertura de piedra o el cubrimiento el cubrimiento del área en volumen de los fragmentos de roca como se indica en el siguiente esquema:

Anexo Láminas comparativas para estimar el cubrimiento de área en volumen de fragmentos de roca, manchas y motas así como nódulos.

