

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES
SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO**



**PATRONES DE DINÁMICA DE UN ECOSISTEMA MULTICOHORTAL DE
Pinus culminicola ANDRESEN & BEAMAN Y *Pinus hartwegii* LINDL. EN UNA
FRACCIÓN DE LA SIERRA MADRE ORIENTAL**

TESIS DE MAESTRÍA

Como requisito parcial para obtener el Grado de
MAESTRÍA EN CIENCIAS FORESTALES

Por

MARCO AURELIO GONZÁLEZ TAGLE

Linares, Nuevo León

Abril de 1999

TM

Z599

FCF

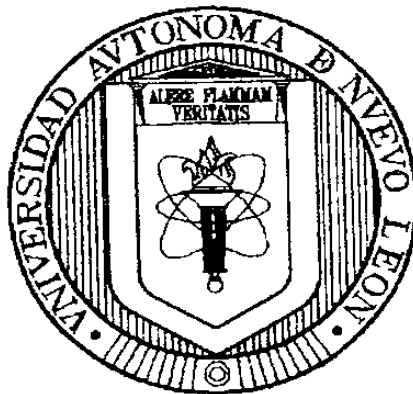
1999

G6



1020125907

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES
SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO**



**PATRONES DE DINÁMICA DE UN ECOSISTEMA MULTICOHORTAL DE
Pinus culminicola ANDRESEN & BEAMAN Y *Pinus hartwegii* LINDL. EN UNA
FRACCIÓN DE LA SIERRA MADRE ORIENTAL**

TESIS DE MAESTRÍA

Como requisito parcial para obtener el Grado de
MAESTRÍA EN CIENCIAS FORESTALES

Por

MARCO AURELIO GONZÁLEZ TAGLE

Linares, Nuevo León

Abril de 1999

TM
= 5091
FCF
· 177
= 6

0132-46160

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES
SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO

**PATRONES DE DINÁMICA DE UN ECOSISTEMA MULTICOHORTAL DE
Pinus culminicola ANDRESEN & BEAMAN Y *Pinus hartwegii* LINDL. EN UNA
FRACCIÓN DE LA SIERRA MADRE ORIENTAL**

TESIS DE MAESTRÍA

**PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRÍA EN CIENCIAS FORESTALES**

Presenta

Ing. MARCO AURELIO GONZALEZ TAGLE

COMISIÓN DE TESIS



Dr. JAVIER JIMÉNEZ PÉREZ

Presidente



Dr. OSCAR A. AGUIRRE CALDERÓN
Secretario



Dr. EDUARDO J. TREVIÑO GARZA
Vocal

Linares, Nuevo León

Abril de 1999



**FONDO
TESIS**

DEDICATORIA

A mis padres, Ing. Marco Aurelio González Acevedo y Juana Inés Tagle Beltrán, por todo su apoyo y comprensión a lo largo de mi formación y como estudiante. Por enseñarme que la humildad, la honradez, el trabajo y el respeto a los demás son los principios que permiten valorar a un hombre.

A mis hermanos Juan Pablo e Ivonne Jeanett, por todo su apoyo incondicional.

AGRADECIMIENTOS

Durante el transcurso de mis estudios de Maestría y elaboración del trabajo de tesis, tuve la suerte de contar con el apoyo de un gran número de personas, y de instituciones, sin el cual no hubiese sido posible el logro de esta meta.

El Consejo nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT), por el aporte económico brindado para la realización de mis estudios de Maestría, así como para el apoyo parcial del proyecto "Patrones de desarrollo sucesional en un ecosistema forestal multicohortal de *Pinus culminicola* Andresen & Beaman y *P. hartwegii* Lindl. en el estado de Nuevo León" (1531P-N)

Al Dr. Javier Jiménez Pérez, por aceptar dirigir este trabajo de tesis, por su apoyo profesional, académico y moral, pero sobre todo por brindarme su confianza e invaluable amistad. Mil gracias.

Al Dr. Oscar A. Aguirre, gracias por el apoyo brindado a lo largo de mi estancia en la Facultad.

Al Dr. Eduardo J. Treviño, por su disposición y apoyo en la realización de este trabajo.

A todos los profesores de la FCF, gracias por los conocimientos transmitidos y por su trato amable.

A mi novia Dora Alicia por todo su apoyo, comprensión y ayuda incondicional a lo largo de mi carrera y por todos los grandes momentos que hemos convivido juntos. Mil gracias.

A mis compañeros de generación: Chico, Edwards, Pedro (†), Jonás, Bene, Mary, Alfonso, Charles, pancho y Martín, por los grandes momentos.

A todos mis compañeros estudiantes de la FCF con el que tuve el privilegio de compartir momentos muy agradables.

Al T. F. Felix Cervantes, Miguel, Francisco, Rolando, Federico y Bene, por su apoyo en la realización del trabajo de campo.

Al Ing. Oscar Ramírez, por las facilidades brindadas para el uso de las instalaciones y material de la biblioteca.

CONTENIDO

	Página
ÍNDICE DE TABLAS	i
ÍNDICE DE CUADROS	ii
RESUMEN	iii
ABSTRAC	iv
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Problemática y Justificación	3
2. OBJETIVO GENERAL	5
2.1 Objetivos particulares	5
3. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	7
3.1 Sitios de evaluación continua	12
3.2 Modelos matemáticos de predicción	13
3.2.1 Modelos matemáticos	14
3.2.2 Modelos de crecimiento	15
3.3 Densidad	17
4. MATERIALES Y MÉTODOS	19
4.1 Descripción y de <i>Pinus culminicola</i> Andresen & Beaman	19
4.1.1 Características taxonómicas	19

4.1.2 Características morfológicas	20
4.1.3 Distribución	21
4.1.4 Ecosistema	22
4.2 Descripción del <i>Pinus hartwegii</i> Lindl.	23
4.2.1 Características taxonómicas	23
4.2.2 Ecosistema	24
4.3 Descripción general del área de estudio	25
4.3.1 Localización	25
4.3.2 Geología	27
4.3.3 Suelos	27
4.3.4 Clima	28
4.4 Vegetación	28
Pradera alpina	29
Pradera subalpina	30
Matorral de <i>Pinus culminicola</i>	30
Bosque mixto de <i>Pinus culminicola</i> y <i>P. hartwegii</i>	31
4.5 Metodología	31
4.5.1 Desarrollo de la metodología	31
5. RESULTADOS	39
5.1 Gradiente altitudinal	39
5.2 Evaluación de parámetros dasométricos	40
5.3 Densidad	43
5.4 Dominancia	46

5.5 Valor de índice de importancia	48
5.6 Cobertura	51
5.6.1 Relación matemática regeneración – cobertura($reg=f(cob)$)	52
5.6.2 Relación matemática cobertura – altura ($cob=f(h)$)	56
5.7 Relación diámetro – altura de <i>Pinus hartwegii</i> Lind.	62
6. CONCLUSIONES	64
7. RECOMENDACIONES	68
8. LITERATURA CITADA	69

LISTA DE CUADROS

Cuadro	Página
1. Número de individuos por hectárea, presentes en cada gradiente altitudinal	39
2. Relación entre las parcelas del gradiente 1 (3100 msnm) en cuanto a la densidad relativa (%)	44
3. Relación entre las parcelas del gradiente 2 (3300 msnm) con respecto a la densidad relativa (%)	45
4. Relación entre las parcelas del gradiente 1 (3100 msnm) con respecto a la dominancia relativa (%)	46
6. Valor de índice de importancia para <i>Pinus culminicola</i> y <i>P. hartwegii</i> en el gradiente 1 (3,100 msnm).	49
7. Valor de índice de importancia para <i>Pinus culminicola</i> y <i>P. hartwegii</i> en el gradiente 2 (3,300 msnm).	49
8. Valor de índice de importancia para <i>Pinus culminicola</i> y <i>P. hartwegii</i> en el gradiente 3 (3,500 msnm).	50
9. Relación promedio de la cobertura en función de los distintos gradientes altitudinales.	51
10. Modelos matemáticos evaluados para la relación regeneración - cobertura Reg= f(cob)	53
11. Relación matemática para la función cobertura – altura, de acuerdo a los distintos gradientes altitudinales Cob=f(h)	57

LISTA DE FIGURAS

Cuadro	Página
1. Distribución de <i>Pinus culminicola</i> Andresen & Beaman	22
2. Distribución de <i>Pinus hartwegii</i> Lindl.	24
3. Ubicación del área de estudio	26
4. Estructuración de las unidades permanentes de muestreo	35
5. relación de <i>Pinus culminicola</i> y <i>P. hartwegii</i> bajo 3 distintos gradientes altitudinales	40
6. Categoría diamétrica y de altura para <i>Pinus hartwegii</i> y <i>P. culminicola</i>	41
7. Categorías de altura y diamétricas para <i>Pinus culminicola</i> y <i>P. hartwegii</i> respectivamente para el gradiente 2 (3,300 msnm).	42
8. Categoría de altura para <i>Pinus culminicola</i> , gradiente 3 (3,500 msnm).	42
9. Valores promedio para la densidad relativa (%) en los distintos gradientes altitudinales	45
10. Valores promedio para la dominancia relativa (%) en los distintos gradientes altitudinales	48
11. Valor del Índice de importancia para <i>Pinus culminicola</i> y <i>P. hartwegii</i> en cada gradiente altitudinal.	50
12. Relación de la regeneración en función de la cobertura dentro de los tres gradientes altitudinales	55
13. Relación de la cobertura en función de la altura para el gradiente altitudinal 1	59
14. Relación de la cobertura en función de la altura para el gradiente altitudinal 2	60
15. Relación de la cobertura en función de la altura para el gradiente altitudinal 3	61
16. Relación de la altura en función del diámetro.	63

RESUMEN

En una fracción de la Sierra Madre oriental se localiza el cerro Potosí, en la cual se analizó un ecosistema forestal donde cohabitan *Pinus culminicola* y *P. hartwegii* que constituyen un binomio de especies endémicas y económicamente importantes para la región del sur del estado de Nuevo León. El análisis ecológico cuantitativo se efectuó en tres gradientes altitudinales (3,100, 3,300, y 3,500 msnm), evaluando diversos parámetros dasométricos como altura, diámetro, cobertura, regeneración, número de individuos y especies. De las variables anteriores se lograron resultados satisfactorios con respecto a la abundancia y dominancia relativa, así como número de individuos en función del gradiente altitudinal. A su vez, se analizó las relaciones funcionales entre cobertura, regeneración en función del gradiente altitudinal.

ABSTRAC

In a fraction of the Sierra Madre Oriental is located the Cerro potosí, which was analyzed a forest ecosystem, where *Pinus culminicola* and *P. hartwegii* cohabit and constitutes a biome of endemic spicies with economic importance for the South region of nuevo león. The quantitative economic analysis was effectuated in three altitudinal gradients (3,100, 3,300 and 3,500 meters), evaluating different forest measurements parameters such as heigth, diameter, coverage, regeneration, number of trees and species. From the previous variables was obtained satisfactory results with reference to the abundance and relative dominance, as well as the numbers of trees in function to the altitudinal gradients. Likewise was analyzed the functional relations between regeneration coverage and the altitudinal gradient.

1. INTRODUCCIÓN

En México existe una gran preocupación sobre la problemática actual de los recursos naturales y su creciente deterioro. Es de mencionar que esta pérdida de recursos naturales obedece a distintos factores bióticos y antrópicos. Por tal motivo el recurso forestal en México se encuentra en una etapa, donde deja de ser exclusivamente productor de materias primas para las distintas industrias forestales y trasciende para ser valoradas otras funciones, tales como: cosecha de agua, fauna silvestre, diversidad genética, recreación.

Las particularidades orográficas de la Sierra Madre oriental y su manifestación acentuada en el noreste de México, han dado lugar a que existan modificaciones sustanciales en lo concerniente a los diversos tipos de vegetación, donde ocurre una alta diversidad microclimática y de fitocenosis contrastantes.

La baja productividad de estudios ecológicos sobre la dinámica de crecimiento para los bosques de clima templado y ecosistemas forestales mixtos, donde cohabitan especies de alto riesgo ecológico y de tipo comercial, orientados bajo el precepto de manejo forestal sustentable (Jiménez, 1996).

En general, los estudios no han sido orientados a evaluar en forma real la dinámica y relaciones sucesionales de los recursos naturales renovables, principalmente los realizados para el estado de Nuevo León y en forma especial para el Cerro Potosí, lo cual ha causado que una gran fracción de estos recursos bióticos, estén sometidos a un rápido proceso de degradación, sin que aún se pueda definir la forma adecuada de frenar este acelerado proceso de eliminación.

El Cerro Potosí se localiza en el sureste del Estado de Nuevo León, como una fracción de la Sierra Madre Oriental. Este macizo montañoso alcanza una altitud sobre el nivel del mar de 3,670 m. Por esta particularidad, así como por los grandes endemismos florísticos existentes a lo largo del gradiente altitudinal, el Cerro Potosí ha sido objeto de diversos estudios científicos (García, 1989; García 1996; McDonald, 1990; Sánchez, 1990) para lograr dilucidar el grado real de vulnerabilidad de los distintos especímenes vegetacionales de la flora alpina y subalpina del noreste de México.

De acuerdo a lo antes descrito, el presente estudio pretende definir la dinámica de regeneración, cobertura y frecuencia relativa de *Pinus culminicola* en sus distintos gradientes altitudinales.

1.1 PROBLEMÁTICA Y JUSTIFICACIÓN

Los trabajos desarrollados en el Cerro Potosí han estado orientados principalmente, a la descripción de las diferentes formas vegetacionales existentes en este macizo montañoso, presentándose una carencia de estudios ecológicos, tendientes a evaluar la dinámica de crecimiento de *Pinus culminicola*.

Con el presente trabajo de investigación se pretende definir la dinámica de crecimiento de *Pinus culminicola* bajo distintos gradientes altitudinales y condiciones de crecimiento para lograr los conocimientos básicos sobre el desarrollo y su respectivo grado de asociación con los diferentes cohabitantes florísticos, bajo distintas condiciones específicas y diversos índices de densidad. Lo anterior con el fin de proteger y preservar este ecosistema forestal, definido como un patrimonio de la humanidad.

Es importante mencionar que este ecosistema ha sido devastado a lo largo del tiempo, por la ausencia de conocimientos sobre los procesos dinámicos intrínsecos que presenta en asociación con las demás especies que cohabita. También, existe una disminución en la superficie que ocupa el *Pinus*

culminicola en el Cerro Potosí, atribuyéndose esta disminución superficial al establecimiento de una infraestructura en telecomunicación, la presencia de una mina de manganeso y la construcción de un camino vecinal, así como la presencia de incendios forestales en época de sequía. Tales agentes han causado que más del 40 % de la superficie cubierta con vegetación se encuentre expuesta a los fuertes procesos de erosión, aunado a una explotación irracional de *P. hartwegii* asociado a *P. culminicola*, lo cual a causado como resultado que la superficie vegetacional cercana a la cima del Cerro Potosí, se encuentre en un proceso de deforestación continuo.

Por lo antes descrito, se menciona que mediante el establecimiento y seguimiento de Sitios de Evaluación Continua, se ofrecerá información real y precisa concerniente a la situación de la dinámica de crecimiento de la especie *Pinus culminicola*, permitiendo que en un futuro se tomen decisiones acordes con el estado natural en que se desarrollan.

2. OBJETIVO GENERAL

Contribuir al desarrollo de nuevas metodologías para la solución de la problemática sobre la pérdida y deterioro de la fitodiversidad en ecosistemas forestales mixtos, mediante el aporte de nuevos conocimientos ecológicos y evolutivos que permitan un mayor entendimiento sobre el funcionamiento de los ecosistemas y sus distintos niveles de organización.

2.1 OBJETIVOS PARTICULARES

Estudio de asociación de *Pinus culminicola* – *P. hartwegii* bajo diferentes gradientes altitudinales.

Evaluación del desarrollo de diversos parámetros dasométricos tales como: diámetro, altura, amplitud de copa, cobertura.

Análisis de los procesos de regeneración para la especie *Pinus culminicola*.

Estimación de índices de densidad para la especie *Pinus culminicola* en cada rango altitudinal.

3. REVISION BIBLIOGRAFICA

La baja productividad en estudios poblacionales para bosques de clima frío-templado, bajo el precepto de ecosistemas forestales, orientados a evaluar en una forma real las relaciones sucesionales y de dinámica de los recursos naturales renovables, ha traído consigo que una fracción de la superficie forestal mexicana se encuentre en un proceso rápido de degradación, sin que aún se logre dilucidar la forma de frenar este proceso acelerado de desertificación (Jiménez, 1996). Estudios científicos sobre el conocimiento dinámico y sucesional de los diferentes ecosistemas forestales en México resulta ser de una importancia relevante para lograr un adecuado manejo sustentable de los recursos naturales renovables.

En la actualidad la mayoría de los países dedicados al manejo de los ecosistemas forestales han retornado a evaluar sus distintos tipos de vegetación de interés forestal, para considerar de una manera global, el desarrollo de sus especies maderables y/o endémicas o amenazadas, con el fin de mantener el concepto de sustentabilidad de los ecosistemas sin llegar a causar un deterioro en los mismos.

Los trabajos de investigación realizados principalmente en la Sierra Madre Oriental, enfocados a especies endémicas, bajo protección especial o en peligro de extinción, se han registrado en forma particular en el Cerro Potosí, Nuevo León y la Sierra la Marta, en Coahuila, teniendo un enfoque descriptivo (Andresen y Beaman 1961, Capo 1972, Banda 1974, García 1991, Perry 1992).

Es interesante mencionar que el Cerro Potosí, en el estado de Nuevo León, surge como una fracción de la Sierra Madre Oriental, donde logra alcanzar una altura sobre el nivel del mar (msnm) de 3,750 m. Debido a esta particularidad, ha sido objeto de estudios científicos por encontrarse una diversidad de hábitats que ocurren desde un bosque encino-pino hasta la pradera subalpina y alpina, localizándose a lo largo de su gradiente altitudinal un gran número de especies endémicas, bajo protección especial, en peligro de extinción y maderables, dando por resultado que exista un gran interés por determinar el grado de vulnerabilidad de las especies endémicas que cohabitan.

Es importante remarcar que la mayoría de las especies endémicas, se localizan a una altitud que oscila entre los 3,000 y 3,700 msnm. En el Cerro Potosí, se ubican 8 especies en las categorías de vulnerables y endémicas, lugar donde se ubica *Pinus culminicola* (Beaman, 1966).

Pinus culminicola se colectó por primera vez en 1940 en el Cerro Potosí, aunque se identificó como *Pinus flexis*, *Pinus cembroides*, y *P. quadrifolia* (Andresen y Beaman, 1966).

Pero fue hasta 1966 cuando Andresen y Beaman lo identifican como *Pinus culminicola* y lo describen como una especie que se localiza en los flancos Este, Sur y Oeste del Cerro Potosí en situación de densos chaparrales y casi impenetrables. Alrededor de la periferia de la cima, esta especie se encuentra escasa y baja, normalmente con una altura no mayor a 1 m. En altitudes superiores resulta ser más denso y alto, alcanzando una altura que oscila entre los 2-5 m, sin perder su característica principal de ser arbustiva y su apariencia delicuescente.

Los hábitos del crecimiento de *Pinus culminicola*, aparentemente, es el resultado del control genético directo, más que el efecto continuo del clima frío, viento o nieve. La polinización del *P. culminicola* ocurre durante los meses de julio y agosto, por lo que los conos de tipo ovulado maduran durante el transcurso de los meses de septiembre y octubre. Muchas herbáceas perennes y unos cuantos arbustos dicotiledóneos aparecen en el área del *P. culminicola*

entre los que se encuentran: *Senecio sanguisorbae*, *Symnphoricarpos microphosis*, *Drindelia inuloides*; *Senecio cemerensis*, *Stellaria succidata* (Andresen y Beaman, 1966).

Rzedowski (1987) menciona que de esta comunidad vegetal solo se determina un área ocupada de 0.5 km² aproximadamente, localizada en la cumbre del Cerro Potosí. El matorral de *Pinus culminicola* se define dentro de un estrecho cinturón altitudinal entre los 3,450 y 3,650 m, intercalándose entre el bosque de *P. hartwegii* y la pradera alpina. En general es un matorral denso y difícilmente penetrable.

Esta especie dominante se caracteriza por su definido aspecto arbustivo, pues se ramifica en forma profusa desde la base y crece más a lo ancho que a lo alto. Fisonómica y ecológicamente la comunidad de *Pinus culminicola* guarda una notable semejanza con los matorrales de *P. mugo* de las altas montañas de Europa, así como con los de *P. pumila* del Este Asiático (Andresen y Beaman, 1966).

Capó (1972) realizó ciertas observaciones sobre la taxonomía y distribución de las coníferas en Nuevo León, teniendo como objetivo el contar

con una guía para la determinación de estas especies. En esta investigación se concluye que en la zona templada del Estado de Nuevo León existe un considerable número de coníferas de distintas especies, variedades y formas, consecuencia de la existencia de una gran presencia de microclimas, que condiciona la existencia de diversos hábitats. Las especies endémicas de las regiones más frías y húmedas son *Picea mexicana* y *Pinus culminicola*.

Posteriormente Capó (1972) registra en Coahuila para la Sierra de la Marta la presencia del *Pinus culminicola*; en 1975 se describe para el Cañón de las Alazanas, Coahuila por Riskind y Patterson. A su vez Ramírez (1979), localiza a *P. culminicola* en la Sierra la Viga, Coahuila.

En un estudio realizado por Sánchez *et al.* (1987) concluye que existen cambios significativos en la superficie cubierta por la comunidad de *Pinus culminicola* en la cima del Cerro Potosí con 106 ha en 1960 y 70 ha en 1970 y por lo que se atribuye que 38 ha fueron devastadas por los incendios forestales.

De acuerdo a los estudios efectuados por Andresen y Beaman (1961) y después por García (1991), se menciona que en 1961 existían 119 ha de *Pinus culminicola*, pero en 1991 esta superficie disminuye drásticamente a 67 ha.

3.1 SITIOS DE EVALUACION CONTINUA

En 1938 en el estado de Wisconsin, Estados Unidos, se establecieron los primeros Sitios de Evaluación Continua, diez años después, en los estados de Ohio y Wisconsin, ya se tenían más de 1000 Sitios de Evaluación Continua, Por mencionar algunos ejemplos en el ámbito internacional, Oliver (1993) y Schreuder (1993) realizan estudios tendientes a determinar el desarrollo de especies forestales mediante la instalación de sitios de evaluación continua durante períodos bastantes amplios, logrando establecer una serie de reglas sobre el crecimiento y productividad en diferentes ecotonos.

En México existen diversas publicaciones referentes a la bondad de los sitios permanentes de muestreo (INIF 1969, SARH 1979, Manzanilla 1986), las cuales han sido realizadas en forma aislada y con un reducido criterio de

globalización. Al mismo tiempo, una fracción de dichos sitios han desaparecidos o no han logrado una continuidad de medición y evaluación.

En los sitios de evaluación continua o unidades permanentes de muestreo (Gadow, 1992), se realizan dos o más mediciones con el fin de determinar los rangos de crecimiento y mortalidad, ajustando los modelos matemáticos existentes a las condiciones actuales del área donde se realizan las evaluaciones.

Los sitios de evaluación continua proveen de información precisa y veraz sobre los procesos dinámicos, a través de los distintos parámetros de medición en la población, solo que todavía su costo financiero de instalación y medición es mayor que los sitios temporales de muestreo (Cunia, 1974, Loetsch y Haller, 1964).

3.2 MODELO MATEMATICO DE PREDICCIÓN

Cuando se trata de estudiar un fenómeno del mundo real en términos cuantitativos se recurre a una expresión matemática, que lo describa en la forma más fiel posible y a dicha expresión se le denomina modelo.

3.2.1 Modelos Matemáticos

La mayoría de las comunidades vegetales poseen una *dinámica* relativamente lenta y puede tomar cientos de años en llegar a su punto clímax, en comparación con la vida de un investigador. Es en estos momentos cuando los modelos matemáticos tienen su función, pues a partir de una base de datos obtenida de un inventario forestal, se pueden realizar extrapolaciones de una escala pequeña a una escala mayor en tiempo y espacio (Pacala, *et al.* 1996).

Existen diferentes definiciones de modelos matemáticos:

Un modelo matemático es un postulado que trata de caracterizar un fenómeno que ocurre en la naturaleza en términos cuantitativos, conteniendo variables aleatorias. (Jiménez, 1997)

Un modelo se define como una abstracción o una representación simplificada, de algún aspecto real. (Vanclay, 1994).

La FAO (1980) define los modelos matemáticos como ecuaciones y gráficos que nos muestran relaciones cuantitativas entre las variables.

Los modelos matemáticos pueden ser modelos descriptivos o de predicción. Los modelos descriptivos se refieren a la comprensión y conocimiento sobre determinados aspectos en los procesos de crecimiento; y los modelos de predicción, los cuales reducen los procesos del crecimiento para enfocarlos solo hacia ciertos parámetros, definiendo esta predicción a los límites de evaluación (rangos de medición).

3.2.2 Modelos de Crecimiento

De acuerdo con Vanclay (1994) los modelos de crecimiento ayudan a los investigadores y manejadores de los recursos naturales en diversas maneras, algunos usos importantes incluyen la habilidad de predecir los futuros crecimientos y explorar una gran variedad de opciones en los tratamientos silvícolas.

El crecimiento se refiere al incremento en las dimensiones de uno o más individuos en un rodal, en un periodo de tiempo determinado.

Un modelo de crecimiento es una abstracción de la dinámica natural de un ecosistema forestal, contemplando factores como regeneración, crecimiento, competencia, mortalidad, así como cambios en la composición y estructura del mismo, considerando a su vez factores del tipo abiótico.

También se refiere a un sistema de ecuaciones, los cuales pueden predecir el crecimiento y la producción de un rodal bajo una gran variedad de condiciones.

Los modelos de crecimiento son de uso limitado y requieren de una colección de datos obtenidos de inventarios confiables y otras fuentes diferentes, para proveer información precisa para examinar diversas opciones silvícolas, para determinar la producción de madera sustentable y analizar los impactos del manejo forestal y en otros valores del bosque.

Pacala *et al.* (1996) trabajaron ajustando modelos para un bosque de *Quercus* en transición, en el noreste de los Estados Unidos. El objetivo principal

de esta investigación fue dilucidar los procesos que controlan la estructura y dinámica de la comunidad vegetal a lo largo de un rango espacial y temporal a través de los sitios de evaluación continua, de los cuales se obtuvo información relevante de las interacciones entre la competencia individual y la dinámica de la comunidad vegetal estudiada. De acuerdo al modelo ajustado los árboles de manera individual ocupan una posición espacial única y compiten reduciendo la disponibilidad de recursos a los individuos vecinos.

Los resultados obtenidos al desarrollar el modelo matemático fue la predicción de la dinámica en la comunidad, determinando de esta manera la natalidad, dispersión, crecimiento, sobrevivencia y reproducción.

3.3 DENSIDAD

Una de las variables cuantificables más importantes en la evaluación de especies endémicas, vulnerables y/o en peligro de extinción resulta ser la densidad de las especies.

El crecimiento de los árboles en un área está determinado por la cantidad, tipo y distribución de los mismos, variables sobre las que las decisiones del forestal tienen un carácter determinante.

La medición de la densidad al nivel de individuos, tiene gran importancia en el desarrollo de modelos de simulación y predicción del crecimiento de árboles individuales (Clutter, 1983). La cantidad, tipo y distribución de los individuos determinan la densidad de los rodales, definida por el grado de utilización de un sitio por árboles o también por la intensidad de la competencia entre estos (Davis, 1987).

4. MATERIALES Y METODOS

4.1 Descripción de *Pinus culminicola* Andresen & Beaman

Pinus culminicola se describe como una nueva especie en 1966 por Andresen y Beaman, después de realizar un estudio de tipo ecológico en el Cerro Potosí, Galeana, Nuevo León.

De acuerdo con la **NOM-059-ECOL-1994**, *Pinus culminicola* esta catalogada como especie endémica con distribución restringida, limitada estrictamente a las fracciones superiores del norte de la Sierra Madre Oriental, sujeta a protección especial (SEMERNAP, 1996).

4.1.1 Características Taxonómicas

Pinus culminicola pertenece a la familia de las Pinaceae, dentro del subgénero Haploxilon, Sección Paracembra, Subsección Cembroides. *P. culminicola* fue descrita por Andresen y Beaman en 1961, para la cima del Cerro Potosí, Galeana, N.L. Arbusto que presenta una altura que oscila entre 1 a 5 metros, en árboles adultos el diámetro puede alcanzar de 6 a 25 cm. Ramas

numerosas, frecuentemente extendidas conformando una copa baja y densa. Las hojas se agrupan en fascículos de 5 y tienen de 3 a 5 cm de longitud. Los conos son ovales, pequeños, globosos y sésiles de 3 a 4 cm de longitud y de color café-rojizo, con semillas de dimensiones variables, que oscilan entre los 0.8 y 1 cm de longitud. Las vainas de fascículos de 6 mm de longitud y de color café claro (Perry, 1991).

4.1.2 Características Morfológicas

Pinus culminicola es la única especie de la familia de los piñoneros que presenta un porte bajo, por lo que se le conoce como pino enano o pino arbustivo por su típica forma. Se ramifica de manera profusa desde la base, y su crecimiento es más bien a lo ancho, formando matorrales de difícil penetración.

En árboles maduros la corteza es delgada, de color café claro, sin presentarse fisuras longitudinales o transversales, pero esta formado de pequeñas placas delgadas y de forma irregular. En árboles jóvenes la corteza es delgada y grisácea, sus ramas son gruesas, duras, rugosas, las hojas se agrupan en racimos, encontrándose en fascículos de cinco, el dorso es verde azulado y el

reverso es glaucoso; los márgenes son enteros, anchos, duros y curvos hacia adentro de 3 a 5 cm de largo, 1.0 a 1.3 mm de ancho; Los estomas aparecen solo al reverso con un canal de resina. La madera es dura y el duramen se forma desde temprana edad (Perry, 1991).

4.1.3 Distribución

Pinus culminicola se colectó y describió por primera vez en el Cerro Potosí cerca de los 3,500 msnm, Galeana, Nuevo León y por varios años se ubicó solo en este lugar (Figura 1). Posteriormente Riskind & Patterson en 1975 reportaron colectas en la Sierra de La Marta, municipio de Arteaga, Coahuila y también de otras montañas al noreste del poblado de San Antonio de las Alazanas, Coahuila.

Los suelos donde se desarrolla esta especie son rocosos de grava y caliza, la precipitación es bastante grande por efecto de las neblinas que ocurren frecuentemente a través del año (Perry, 1991).

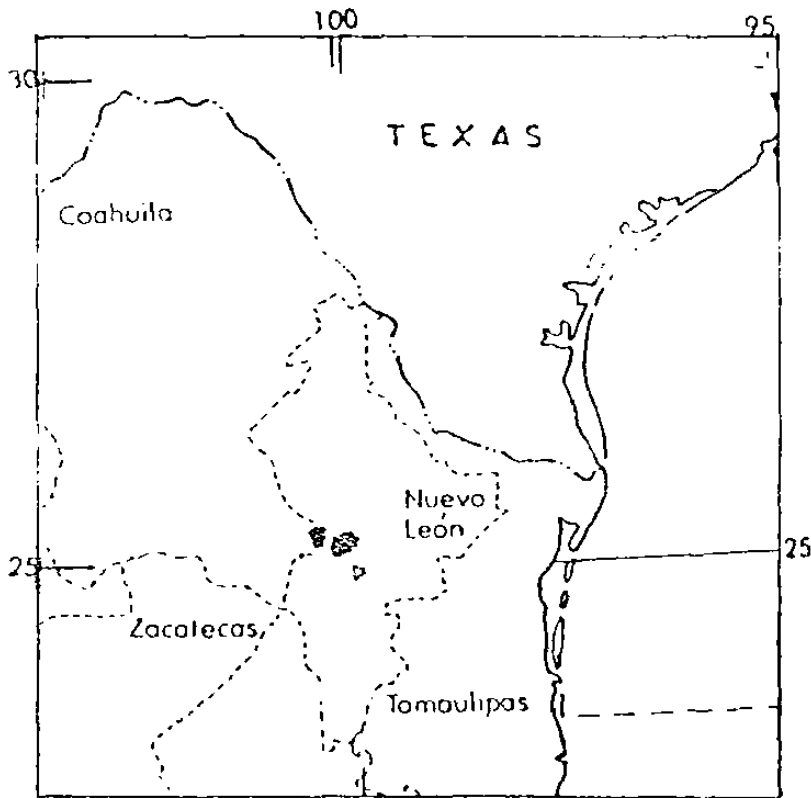


Figura 1: Distribución de *Pinus culminicola* Andresen & Beaman

4.1.4 Ecosistema

Pinus culminicola es una especie que habita a grandes altitudes, endémico e incluso relictos del norte de la Sierra Madre Oriental, reminiscencia del pleistoceno. Se distribuye en grupos, formando matorrales puros o en asociación con *P. hartwegii*. Rzedowski (1978) lo menciona como "el único caso de verdadero matorral cespitoso de pino que se conoce en México".

4.2 Descripción de *Pinus hartwegii* Lindl.

La especie de *Pinus hartwegii* Lindl, se ubica en el Cerro Potosí entre los 2,800 y 3,400 msnm en una forma dominante y se asocia con *P. ayacahuite*. El bosque de *P. hartwegii* alcanza la cima del mismo Cerro por el lado norte (3,470 msnm). El resto de la cima se encuentra habitado por un denso matorral de *P. culminicola* (García, 1989)

4.2.1 Características Taxonómicas

Pinus hartwegii Lindl, especie que se caracteriza por presentar 3 acículas, encontrándose en algunos casos 4 o 5, su color es de un verde claro con una longitud de hoja de 8 cm. La corteza presenta un aspecto agrietado de color pardo rojizo, los conos son de color rojizo oscuro o casi negro que varia entre 7 y 10 cm de longitud, son más o menos sésiles o algunas veces con un corto pedúnculo. La altura de esta especie oscila de 15 a 30 m (Perry, 1991).

4.2.2 Ecosistema

En México, *Pinus hartwegii* se ha reportado para los estados de Nuevo León, Tamaulipas, Hidalgo, Puebla, México, Morelos, Colima, Michoacán, Jalisco, Oaxaca y Chiapas (Figura 2).

Pinus hartwegii se desarrolla en un gradiente altitudinal que oscila entre los 2,800 y 3,4000 msnm, formando grandes bosques puros y densos los cuales se encuentran sometidos a fuertes presiones climáticas, tales como el viento y la nieve. La mayoría de los árboles, en la cima del Cerro Potosí presentan daños en la copa por la nieve.

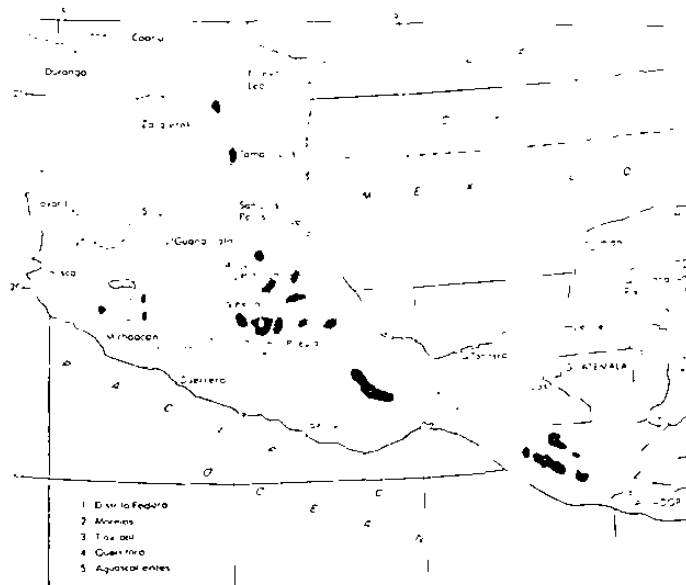


Figura 2: Distribución de *Pinus hartwegii* Lindl.

4.3 DESCRIPCION GENERAL DEL AREA DE ESTUDIO

4.3.1 Localización

El área de estudio se localiza en el municipio de Galeana, Nuevo León (Figura 3) en el Ejido 18 de Marzo, a partir de la cota altitudinal de los 3100 msnm; su cima se localiza a 15 Km al Oeste de Galeana entre los $24^{\circ}50'45''$ y $25^{\circ}53'16''$ de latitud Norte y los $100^{\circ}15'12''$ longitud Oeste (Critchfield, 1966).

El Cerro Potosí presenta un alto porcentaje de especies endémicas, debido a su aislamiento geográfico y diferencias en el sustrato geológico con respecto al de otras montañas (Rzedowski, 1978).

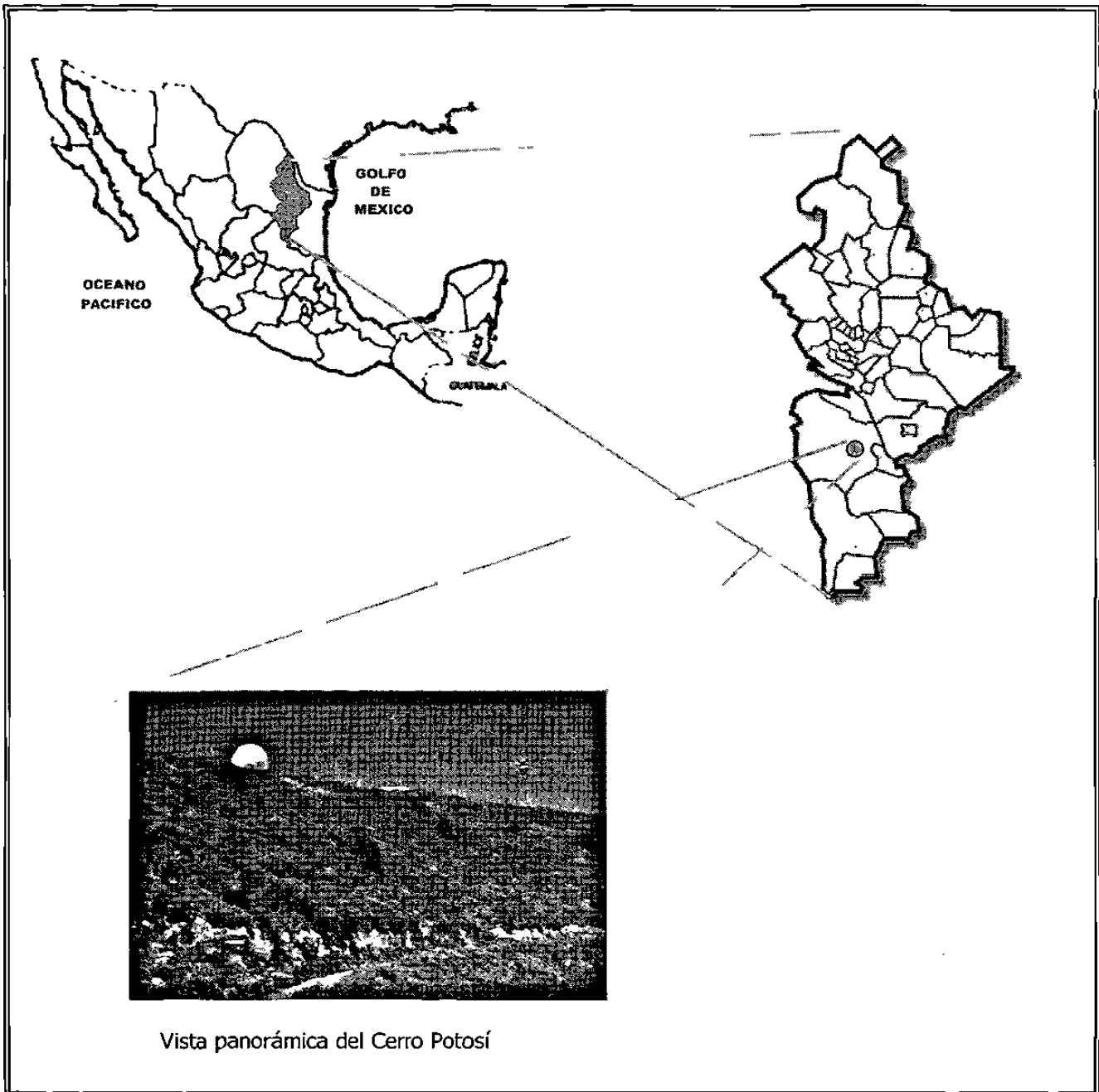


Figura 3: Ubicación del área de estudio

4.3.2 Geología

El Cerro Potosí presenta formaciones del período cretácico inferior, compuestas de caliza micro cristalina, caliza laminada, caliza con lentejones y nódulos de pedernal negro marga en capas, marga arenosa y arsénica. La roca caliza es de origen sedimentario marino (DETENAL, 1977, 1978; García, 1991).

4.3.3 Suelos

De acuerdo a las características propias de los suelos, en el área de estudio se presentan escasos desarrollos ubicados dentro de Orthents y los Rendolles, siendo estos últimos delgados con difícil diferenciación de horizontes, además de presentar un alto contenido de materia orgánica permaneciendo sobre estos minerales de caliza (SPP, 1982). Los suelos son del tipo Litosoles, combinado con Rendzinas presentándose en menor proporción de materia orgánica y materiales parcialmente descompuestos.

4.3.4 Clima

No existe información climática del área, pero en base de datos extrapolados de la estación 18 de marzo (2,020 msnm) se calculó el clima de la zona de tipo E(T) H (e), frío y extremoso (diferencia aproximadamente de 9°C entre las medias del mes más frío y el mes más caliente) de acuerdo con la clasificación de Köppen modificada por García (1981). La zona esta sometida a la acción de intensos vientos durante la mayor parte del año. Fuertes neblinas y lluvias, a menudo con granizo, ocurren durante gran parte del año; la precipitación promedio es de 600 a 800 mm. La máxima incidencia de lluvias es durante el mes de septiembre. La temperatura media anual se ubica entre los 12°C; la mínima se registra en el mes de enero siendo de -1.5°C (SPP, 1982).

4.4 Vegetación

El Cerro Potosí posee una amplia diversidad de especies, encontrándose a una altura de 1700 msnm un tipo de vegetación llamado matorral xerófito y un bosque abierto de *Pinus arizonica* y *P. cembroides*. En el flanco oriental y

norte del Cerro, comunidades muy densas, debido a la influencia de los vientos alisios.

La especie de *Pinus hartwegii*, se encuentra entre los 2,850 y 2,930 msnm en una forma dominante y también se le encuentra asociado con *P. ayacahuite*. El bosque de *Pinus hartwegii* alcanza la cima del cerro por el lado norte (3,470 msnm) en el resto de la cima es sustituido por un matorral denso de *P. culminicola*, esto a una altura de 3,450 msnm (García, 1991)

Beaman y Andresen en 1966 reconocen cuatro comunidades vegetales: pradera alpina, pradera subalpina, matorral de *Pinus culminicola* y Bosque de *P. hartwegii*.

Pradera alpina

Este tipo de vegetación es único para la región noreste de México, localizándose una gran cantidad de especies endémicas, raras, vulnerables y en peligro de extinción, tales como *Lupinus cacuminis*, *Potentilla leonina*, *Arenaria oresbia*, *Astragalus purpusii*, *Senecio loratifolius* y *Euphorbia beamanii*.

Pradera subalpina

La pradera subalpina resulta ser una derivación de la pradera alpina y el matorral de *Pinus culminicola*, donde la desaparición de esta especie favorece el desarrollo de especies heliófitas en la pradera. Las especies de mayor frecuencia son: *Senecio loratifolius*, *Euphorbia beamanii* y *Juniperus sabinooides*, principalmente.

Matorral de *Pinus culminicola*

Este matorral o comunidad arbustiva es bastante densa y baja, donde *Pinus culminicola* es la única especie dominante. Otros arbustos que se encuentran en forma aislada dentro del mismo matorral son: *Holodiscus dumosus*, *Symphoricarpos microphyllus*, *Ribes ciliatum*, *Garrya ovata* y *Juniperus sabinooides*.

Bosque mixto de *Pinus culminicola* y *P. hartwegii*

La especie *Pinus hartwegii* alcanza la cima del Cerro Potosí por la ladera noreste, presentado ciertos individuos aislados, de fuste corto y copa deforme, por efecto de la gran intensidad de vientos. En esta comunidad se encuentran algunos elementos asociados en el sotobosque como: *Achillea lanulosa*, *Ranunculus peruvianus* y principalmente *Senecio camerensis*.

4.5 METODOLOGIA

4.5.1 Desarrollo metodológico

En la fase inicial se recorrieron las distintas áreas donde se localiza *Pinus culminicola*, para ubicar aquellas que presentarán las características deseables para la investigación en cuestión.

Posteriormente se establecieron las unidades de evaluación continua, procedimiento básico dentro de los aspectos concernientes a la protección, conservación y manejo de los recursos naturales renovables, además de

proveer información real y precisa sobre la dinámica poblacional (Oliver, 1993; Schreuder *et al.* 1993). En este tipo de investigación se analizaron principalmente los factores bióticos y abióticos como: parámetros dasométricos (diámetro, altura, amplitud de copa, cobertura y estructura muestral), así como índices de densidad, crecimiento e incremento individual y de grupo, sobre la especie *Pinus culminicola*, bajo diferentes gradientes altitudinales.

A continuación se presenta para cada uno de los puntos señalados en los objetivos, las formas de determinación y evaluación. Es de mencionar que las áreas de investigación se localizan a una altitud entre los 3,100 y 3,600 msnm en el Cerro Potosí, municipio de Galeana, estado de Nuevo León:

OBJETIVO 1. Estudio de asociación de *Pinus culminicola* - *Pinus hartwegii* bajo diferentes gradientes altitudinales.

Las unidades permanentes de muestreo se instalaron en sitios de vegetación de *Pinus hartwegii* - *P. culminicola*, *P. culminicola* - *P. hartwegii* y *P. culminicola* bajo diferentes gradientes altitudinales y de exposición:

- Gradiente 1 (3100 msnm) Bosque mixto de *Pinus hartwegii* - *P. culminicola*.
- Gradiente 2 (3300 msnm) Bosque mixto de *P. culminicola* - *P. hartwegii*.
- Gradiente 3 (3500 msnm) Bosque dominante de *Pinus culminicola*.

Los sitios permanentes se ubicaron con una variación de 300 metros sobre el nivel del mar, localizando tres unidades permanentes de muestreo en un mismo rango altitudinal, determinadas éstas por la variación existente en la vegetación.

Su forma es del tipo circular, por ser la más adecuada para analizar ecosistemas forestales de clima templado que representan las características del área de estudio. Este sistema de muestreo experimental corresponde a una variación del diseño de bloques al azar convencional (Pielou, 1977).

Asimismo, cada unidad de muestreo contará con tres longitudes diferentes de radio como se muestra en la Figura 4.

El círculo exterior se utiliza para la toma de información de los individuos adultos. El círculo intermedio para arbolado joven y por último, el círculo interior sirve para evaluar la regeneración natural.

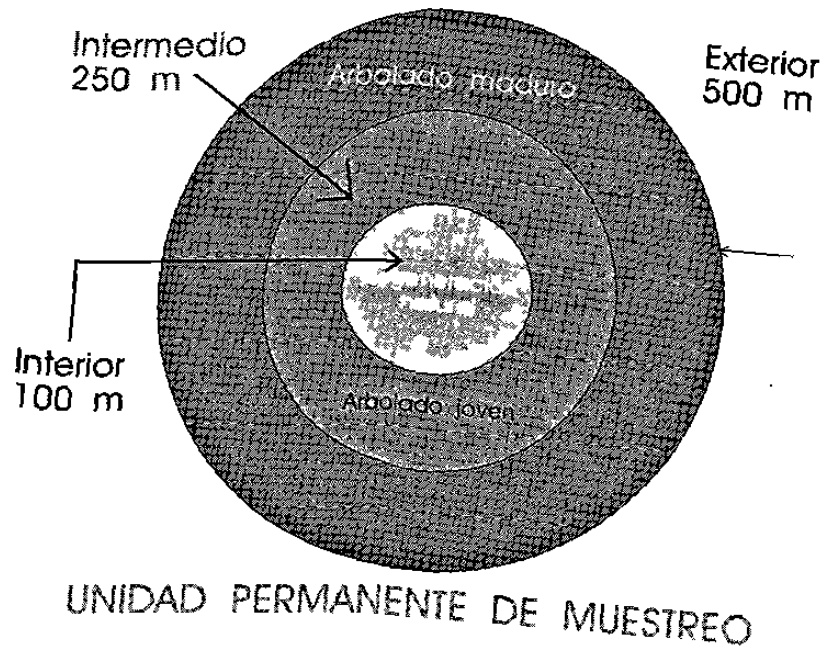


Figura 4: Estructuración de las Unidades Permanentes de Muestreo

OBJETIVO 2. Evaluación del desarrollo de diversos parámetros dasométricos como: diámetro, altura, amplitud de copa y cobertura.

La información que recabada mediante la aplicación de éste objetivo, se encuentra referida tanto a las unidades, como a los individuos localizados en el área de muestreo.

UNIDAD	INDIVIDUO
Número de sitio	Número de individuo (n)
Fecha de medición	Especie
Cobertura (cob)	Diámetro basal (d)
Regeneración (reg)	Edad del individuo (t)
Mortalidad (mor)	Altura total (h)
Frecuencia de especies	Volumen (v)
Distribución diamétrica	Vigor de la especie (vs)
	Amplitud de copa
	Área basal (g)

En este contexto, se analizarán distintos modelos matemáticos de predicción con la finalidad de encontrar la relación que mejor ajuste presente a los datos colectados, evitando con esto la aplicación de simuladores ya existentes que presentan un alto grado de error.

$$h = f(d) \quad v = f(d, h) \quad r = f(n, vs, ps) \quad h = f(d) \quad cob = f(n, g)$$

$$mor = f(n, ps, vs)$$

OBJETIVO 3. Análisis de los procesos de regeneración para la especie *Pinus culminicola*.

En este contexto se hará un análisis de la información capturada a través de las unidades de muestreo continuo en su fase interior (100 m²). Se plantea la hipótesis de que en ecosistemas forestales maduros o decrepitos existe una baja o nula regeneración, por lo que al final de su ciclo de vida no existirá material germoplásmico que reemplace esta vegetación. Por lo contrario, en

ecosistemas jóvenes y vigorosos existe un *grado máximo* de representación de las especies presentes. Asimismo mediante esta investigación se elaborarán predictores matemáticos que conlleven a definir una situación existente.

OBJETIVO 4. Estimación de Índices de densidad para la especie *Pinus culminicola* en cada rango altitudinal.

La determinación de índices de densidad resulta ser de vital importancia en la toma de decisiones, por cuestión de que no todas las especies se desarrollan de la misma manera en espacios iguales. En la determinación de los índices de densidad se evaluarán modelos matemáticos, relacionando el número de individuos por hectárea en función del parámetro dendrométrico diámetro basal promedio

$$n = f(d)$$

5. RESULTADOS

5.1 Gradiente altitudinal

Al analizar los datos, estadísticamente se encontró que el factor altitudinal es la principal variable que *influye* de una manera primordial sobre la distribución de las especies. De acuerdo a diversos estudios efectuados se ha observado que el gradiente altitudinal tiene una especial significancia en la segregación de especies. En este trabajo de investigación se observó que dicha variable afecta la distribución numérica de *Pinus culminicola* y *P. hartwegii*, conforme a distintos gradientes altitudinales (cuadro 1). En la figura 5, se muestra de manera gráfica el efecto altitudinal en la distribución numérica de las especies, *P. culminicola* y *P. hartwegii*.

Cuadro 1: Número de individuos por hectárea presentes en cada gradiente altitudinal

Gradiente	Tipo de vegetación	
	<i>Pinus culminicola</i>	<i>Pinus hartwegii</i>
Gradiente 1 (3,100 msnm) G1	360	700
Gradiente 2 (3,300 msnm) G2	1860	400
Gradiente 3 (3,500 msnm) G3	433	0

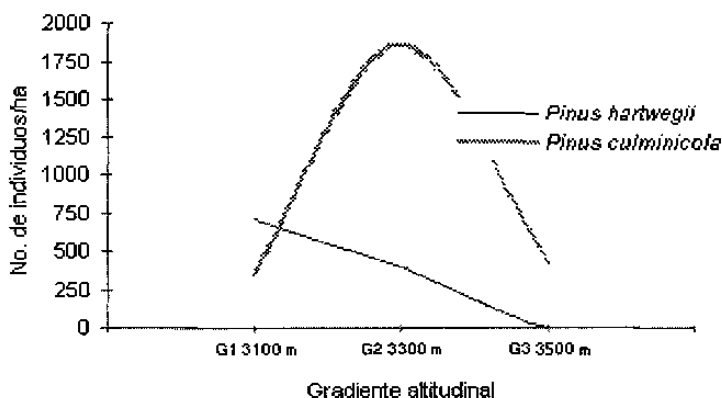


Figura 5: Relación de *Pinus culminicola* y *P. hartwegii* bajo tres distintos gradientes altitudinales.

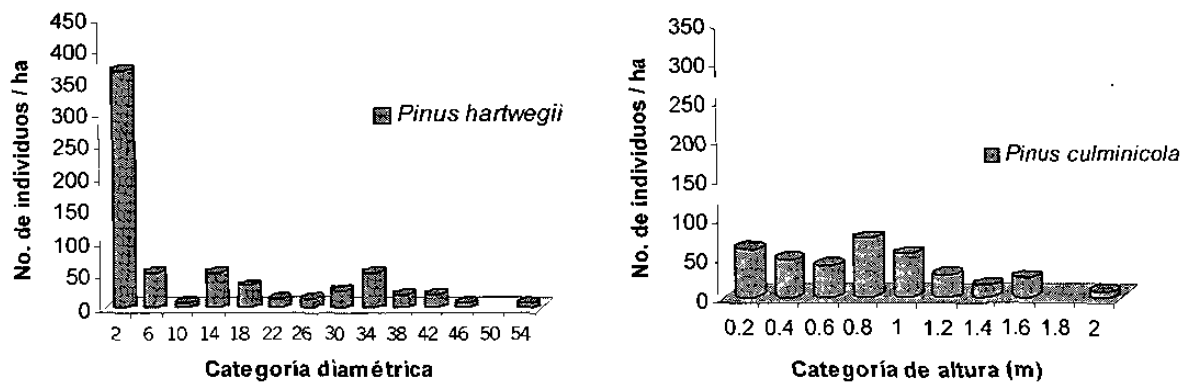
Para la especie *Pinus culminicola* se observa que a medida que se incrementa el gradiente altitudinal, el número de individuos aumenta, hasta que llega a formar un bosque dominante de esta especie en el gradiente altitudinal 3, por otra parte *P. hartwegii*, al incrementarse la altura, el número de individuos disminuye hasta que llega a desaparecer en el gradiente altitudinal 3.

5.2 Evaluación de parámetros dasométricos

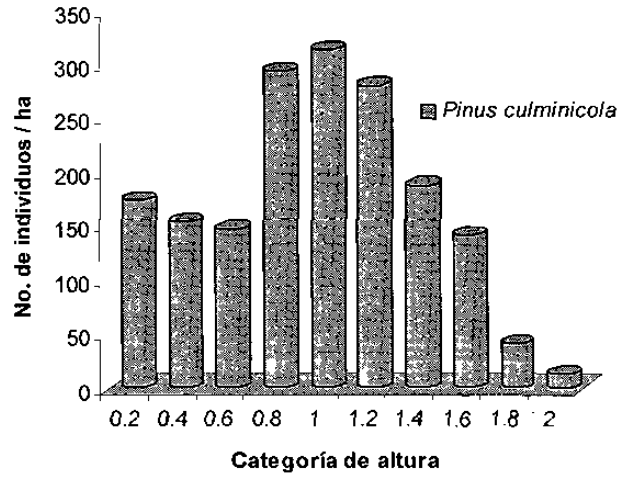
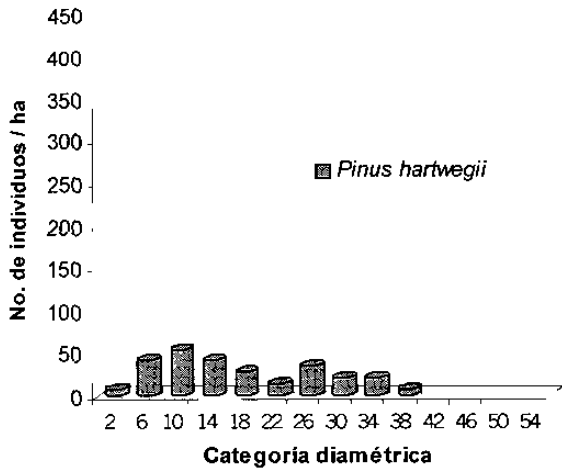
Se procedió a la evaluación de los diversos parámetros dasométricos de diámetro y altura. Esta información recabada está referida tanto a las unidades, como a los individuos localizados en el área de muestreo. Para el gradiente 1 (3100 m), se realizó el análisis de los parámetros diámetro y altura para *Pinus*

hartwegii y *P. culminicola* respectivamente en cada uno de los sitios de evaluación continua y en los diversos gradientes altitudinales (Figura 6).

Figura 6: Categoría diamétrica y de altura para *Pinus hartwegii* y *P. culminicola*



en el gradiente No. 1 (3100 msnm).



Figuras 7: Categorías de altura y diamétricas para *P. culminicola* y *P. hartwegii* respectivamente, para el gradiente 2 (3300 msnm).

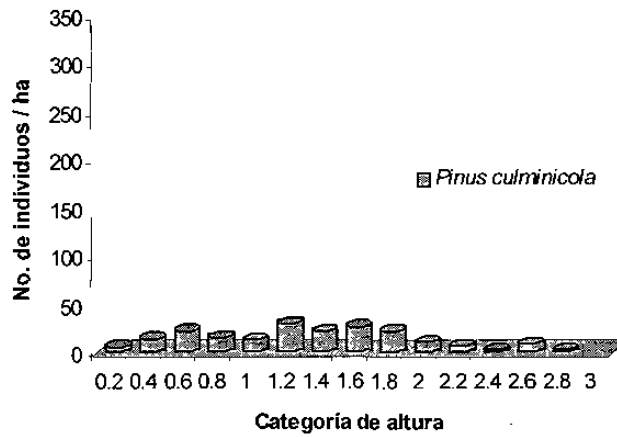


Figura 8: Categoría de altura para *Pinus culminicola*, gradiente 3 (3500m)

5.3 DENSIDAD

Una de las variables cuantificables más importantes en la evaluación de especies endémicas, vulnerables y/o en peligro de extinción resulta ser la densidad o abundancia de las especies. En este sentido, se analizaron las variables especie y número de individuos para tratar de definir una relación en lo correspondiente a la distribución espacial porcentual.

Para la densidad relativa, a los 3100 m sobre el nivel mar, en la parcela 1, *Pinus culminicola* se encuentra con una densidad del 46%, mientras que *Pinus hartwegii* presenta un valor de 54%. En la parcela 2, la densidad de *P. culminicola*, tiene un valor de 38%, en tanto que *P. hartwegii* tiene un 62%; en la parcela 3, la densidad de *P. culminicola* es de 59% y *P. hartwegii* 41% (cuadro 2).

Cuadro 2: Relación entre las parcelas del gradiente 1 (3100 msnm) en cuanto a la densidad relativa (%).

Especie	Gradiente 1		
	Parcela 1	Parcela 2	Parcela 3
<i>P. culminicola</i>	46	38	59
<i>P. hartwegii</i>	54	61	41

La densidad relativa a los 3300 msnm presenta en la parcela 1 un valor de 82% para *P. culminicola* y de 18% para *P. hartwegii*; en la parcela 2, *P. culminicola* continua dominando con un 77%, en comparación con *P. hartwegii* que presenta un 23 %; en la parcela 3, el valor de densidad de *P. culminicola* es de 96%, mientras que *P. hartwegii* solo un 4% (cuadro 3).

Cuadro 3: Relación entre las parcelas del gradiente 2 (3300 msnm) con respecto a la densidad relativa (%).

Especie	Gradiente 2		
	Parcela 1	Parcela 2	Parcela 3
<i>P. culminicola</i>	82	77	96
<i>P. hartwegii</i>	18	23	04

A partir de los 3500 msnm, *Pinus culminicola* logra una dominancia total sobre la superficie con valores del 100% de densidad relativa, en comparación con *P. hartwegii*.

Los promedios respectivos para los diferentes sitios en referencia a la densidad relativa se presentan en la figura 9.

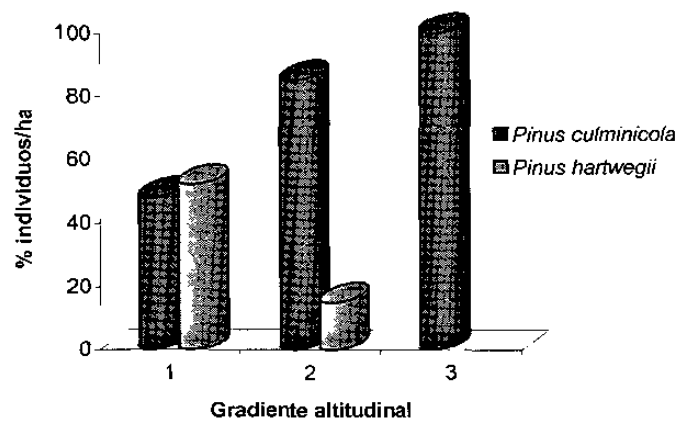


Figura 9: Valores promedios para la densidad relativa (%) en los distintos gradientes altitudinales.

5.4 DOMINANCIA

La variable dominancia al igual que la abundancia representa un valor cuantificable sobre la diversidad de especies.

Con respecto a la dominancia relativa, en el rango de los 3100 msnm, para la parcela 1 *Pinus culminicola* tiene un valor del 13%, mientras que *P. hartwegii* un 87%. En la parcela 2 *P. culminicola* presenta una baja cubierta superficial (6%) en tanto que *P. hartwegii* se encuentra con 94%. En la parcela 3, los valores respectivos son 29% y 71%. En el cuadro 4 se presentan los valores para el primer gradiente.

Cuadro 4: Relación entre las parcelas del gradiente 1 (3100 msnm) respecto a la dominancia relativa (%)

Especie	Gradiente 1		
	Parcela 1	Parcela 2	Parcela 3
<i>P. culminicola</i>	13	06	29
<i>P. hartwegii</i>	87	94	71

La variable dominancia para la altitud de 3300 msnm en la parcela 1, se presenta con un valor de 42% para *Pinus culminicola* y 58% para *P. hartwegii*. En la parcela 2 *P. culminicola* tiene una cubierta de 45%, mientras que *P. hartwegii* ocurre con 55%. En la parcela 3 la dominancia para *P. culminicola* alcanza un 59% y *P. hartwegii* 41% (cuadro 5).

Cuadro 5: Relación entre las parcelas del gradiente 2 (3300 msnm) respecto a la dominancia relativa (%).

	Gradiente 2		
Especie	Parcela 1	Parcela 2	Parcela 3
<i>P. culminicola</i>	42	45	59
<i>P. hartwegii</i>	58	55	41

En la figura 12 se muestran los valores promedio para la variable dominancia relativa para cada uno de los sitios evaluados conforme al gradiente altitudinal respectivo.

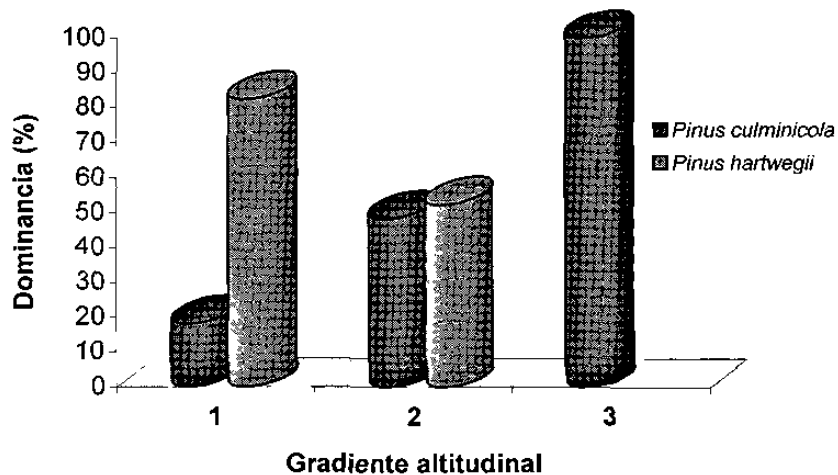


Figura 10: Valores promedio para la dominancia relativa (%) en los distintos gradientes altitudinales.

5.5 VALOR DE ÍNDICE DE IMPORTANCIA

Concluido lo anterior, se procedió a desarrollar el índice de importancia de acuerdo con el gradiente altitudinal y las especies respectivas. En este sentido se tomaron en cuenta las variables densidad y dominancia como variables de mayor sustento dentro de la evaluación estadística (cuadro 6-8). En la figura 11 se observa en forma gráfica los valores promedio para cada gradiente altitudinal.

Cuadro 6: Valor de índice de importancia para *Pinus culminicola* y *P. hartwegii* en el gradiente 1 (3100 msnm).

Gradiente 1

Sitio	<i>Pinus culminicola</i>	<i>Pinus hartwegii</i>
1	59	141
2	44	156
3	88	112
Media aritmética	63.66 %	136.33 %

Cuadro 7: Valor de índice de importancia para *Pinus culminicola* y *P. hartwegii* en el gradiente 2 (3300 msnm).

Gradiente 2

Sitio	<i>Pinus culminicola</i>	<i>Pinus hartwegii</i>
1	124	76
2	122	88
3	155	45
Media aritmética	133.66 %	69.66 %

Cuadro 8: Valor de índice de importancia para *Pinus culminicola* y *P. hartwegii* en el gradiente 3 (3500 msnm).

Gradiente 3

Sitio	<i>Pinus culminicola</i>	<i>Pinus hartwegii</i>
1	100	0
2	100	0
3	100	0
Media aritmética	100%	0%

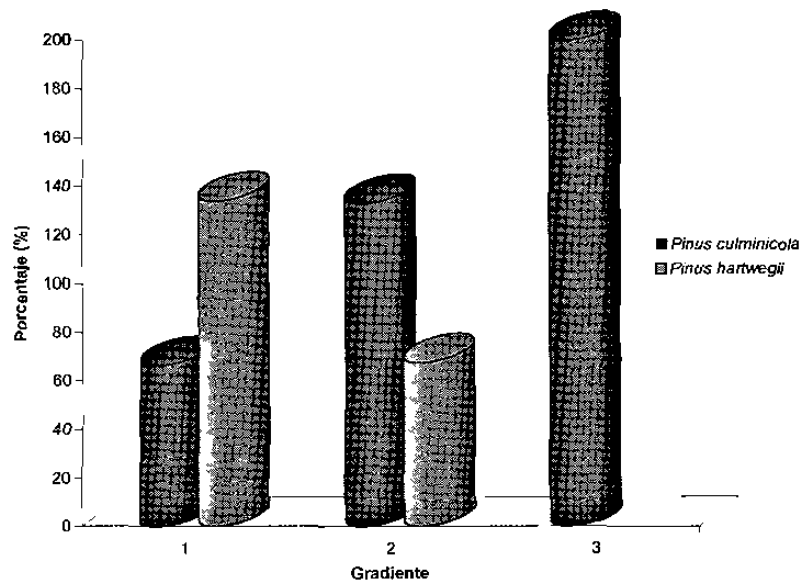


Figura 11: Valor de Índice de importancia para *Pinus culminicola* y *P. hartwegii* en cada gradiente altitudinal.

5.6 COBERTURA

Es importante mencionar que la cobertura guarda una estrecha relación con las variables sobrevivencia, mortalidad, regeneración, altura, por lo que este parámetro se definirá como variable dependiente para el establecimiento de modelos matemáticos. A continuación se muestran los resultados obtenidos de la variable cobertura de acuerdo a los 3 distintos gradientes altitudinales (cuadro 9):

Cuadro 9: Relación promedio de la cobertura en función de los distintos gradientes altitudinales.

Gradiente	Cobertura promedio	Cob/ha (m²)	Cobertura relativa
Gradiente 1	76.0	1520.1	0.15
Gradiente 2	293.0	5859.0	0.58
Gradiente 3	523.1	10462.8	1.04

5.6.1 RELACION MATEMATICA REGENERACION - COBERTURA [reg = f(cob)]

Parte importante en un estudio sobre especies endémicas, vulnerables o en peligro de extinción, es lo concerniente a los procesos reproductivos y de sobrevivencia que ocurren en estos ecosistemas. En este estudio, la regeneración se analizó como un proceso de estabilización de ecosistemas forestales multicohortales, fundamentando la variable regeneración como dependiente de la cobertura. En tal sentido, se probaron una serie de modelos matemáticos para observar cuál de ellos se ajustaba mejor a la dispersión de datos. En el cuadro 10 se muestran los distintos modelos matemáticos evaluados.

Cuadro 10: Modelos matemáticos evaluados para la relación regeneración y cobertura.

Modelo matemático	r	r ²	Varianza explicada (%)
$reg = a_0 + a_1 * cob + a_2 * cob^2$	0.622	0.387	38.71
$reg = e \left[a_0 + a_1 * \ln(cob) + a_2 * \ln(cob)^2 \right]$	0.749	0.561	56.15

Modelo matemático	Coeficientes de regresión		
	a ₀	a ₁	a ₂
$reg = a_0 + a_1 * cob + a_2 * cob^2$	-0.228925	0.034135	-0.00005
$reg = e \left[a_0 + a_1 * \ln(cob) + a_2 * \ln(cob)^2 \right]$	-1.182385	4.201169	-3.667053

reg = f (cob)

reg = número de individuos de regeneración

cob = cobertura

a₀, a₁, a₂ = coeficientes de regresión

El modelo matemático seleccionado en función de los parámetros estadísticos señalados fue:

$$reg = \exp\left[a_0 + a_1 * \ln(cob) + a_2 * \ln(cob)^2\right]$$

En la figura 12 se observa la tendencia que presenta la regeneración en función de la cobertura. El patrón de desarrollo muestra una baja capacidad de regeneración en el gradiente altitudinal 1 (3100 msnm), para incrementarse en el segundo gradiente altitudinal (3300 msnm) y finalmente existe un decremento de esta variable, debido a que no se presenta un mayor número de individuos en este gradiente altitudinal (3500 msnm). Aunado a lo anterior, dentro de este mismo gradiente altitudinal existe una disminución de individuos a causa de los efectos antrópicos ocurridos en esta área.

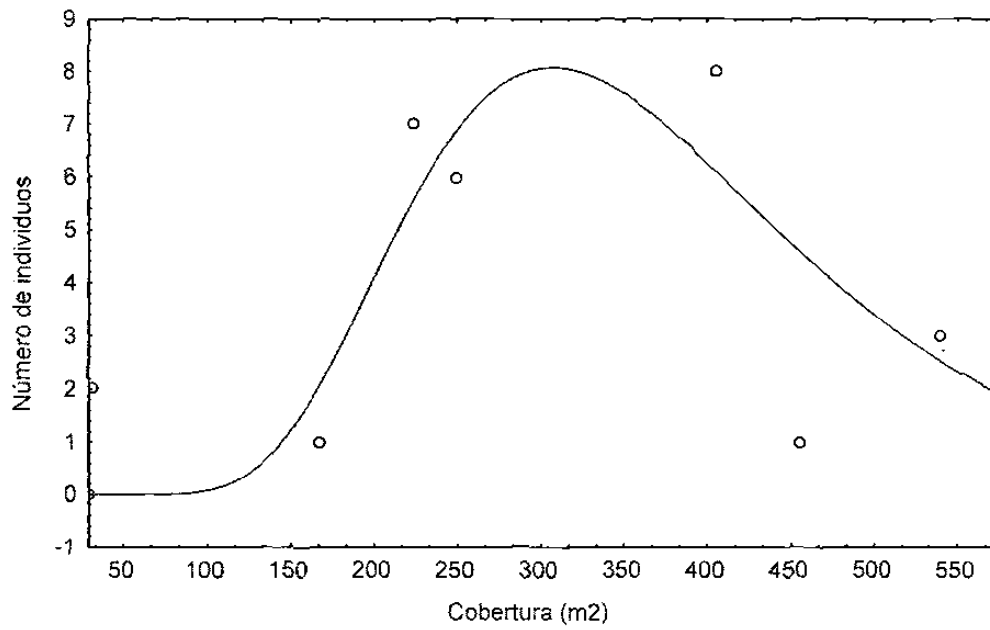


Figura 12: Relación de regeneración en función de la cobertura dentro de los tres gradientes altitudinales.

5.6.2 RELACION MATEMATICA PARA LA FUNCION COBERTURA - ALTURA [cob = f(h)]

La relación biológica de la cobertura en función de la altura ha sido analizada por diversos autores, donde se menciona que a medida que exista un aumento en altura, la cobertura se incrementa proporcional. Esta función resulta del análisis cuantitativo en las copas de los árboles.

Para definir la correspondencia que existe entre *Pinus culminicola* y *P. hartwegii* en relación con la cobertura y la altura en función de los distintos gradientes altitudinales se analizaron diversos modelos matemáticos, para seleccionar el que mejor ajuste presenta a la dispersión de los datos. La función matemática más adecuada para el gradiente altitudinal 1 y 3 fue el modelo propuesto por KORSUN, donde se observa una estrecha relación entre ambas variables. Para el gradiente altitudinal 2 existe una relación no lineal simple.

Gradiente 1:

$$cob = \exp \left[a_0 + a_1 * \ln(h) + a_2 * \ln(h^2) \right]$$

Gradiente 2:

$$cob = \exp\left[a_0 + a_1 * (h^2)\right]$$

Gradiente 3:

$$cob = \exp\left[a_0 + a_1 * \ln(h) + a_2 * \ln(h^2)\right]$$

A su vez el coeficiente correlación (r) y el de determinación (r^2) presentan un valor positivo, lo que demuestra que para una mayor cobertura, deberá existir un incremento en altura (cuadro 11).

Cuadro 11: Relación matemática para la función cobertura altura, de acuerdo a los distintos gradientes altitudinales.

Gradiente	Modelo	r	r ²	Varianza (%)
	$cob = e(a_1 + a_1 * \ln(h) + a_2 * \ln(h)^2)$	0.77	0.59	59.23
Gradiente 1	$cob = e(a_0 + a_1 * \ln(h) + a_2 * \ln(h)^2)$	0.92	0.86	86.10
	$cob = e(a_0 + a_1 * h^2)$	0.95	0.89	89.66
	$cob = e(a_1 + a_1 * \ln(h) + a_2 * \ln(h)^2)$	0.78	0.60	48.6
Gradiente 2	$cob = e(a_0 + a_1 * \ln(h) + a_2 * \ln(h)^2)$	0.78	0.60	60.48
	$cob = e(a_0 + a_1 * h^2)$	0.64	0.41	41.75
	$cob = e(a_1 + a_1 * \ln(h) + a_2 * \ln(h)^2)$	0.77	0.59	59.8
Gradiente 3	$cob = e(a_0 + a_1 * \ln(h) + a_2 * \ln(h)^2)$	0.77	0.59	59.8
	$cob = e(a_0 + a_1 * h^2)$	0.70	0.49	49.27

Elección del mejor modelo matemático para cada gradiente altitudinal.

Relación	Gradiente	Modelo	r	r ²	Varianza %
Cob = f (h)	Gradiente 1	$cob = e(a_0 + a_1 * \ln(h) + a_2 * \ln(h)^2)$	0.92	0.86	86.10
	Gradiente 2	$cob = e(a_0 + a_1 * \ln(h) + a_2 * \ln(h)^2)$	0.78	0.60	60.48
	Gradiente 3	$cob = e(a_0 + a_1 * \ln(h) + a_2 * \ln(h)^2)$	0.77	0.59	59.8
Relación matemática promedio Reg = f (cob)		$reg = e(a_0 + a_1 * \ln(cob) + a_2 * \ln(cob)^2)$	0.749	.5615	56.15

cob = cobertura

h = altura

reg = número de individuos de regeneración (n)

En las figuras 13, 14 y 15 se observa la tendencia que presenta la cobertura en función de la altura y el gradiente altitudinal. Es bastante notable la tendencia que se presenta, es decir a medida que se incrementa la altura, se muestra un crecimiento de la cobertura.

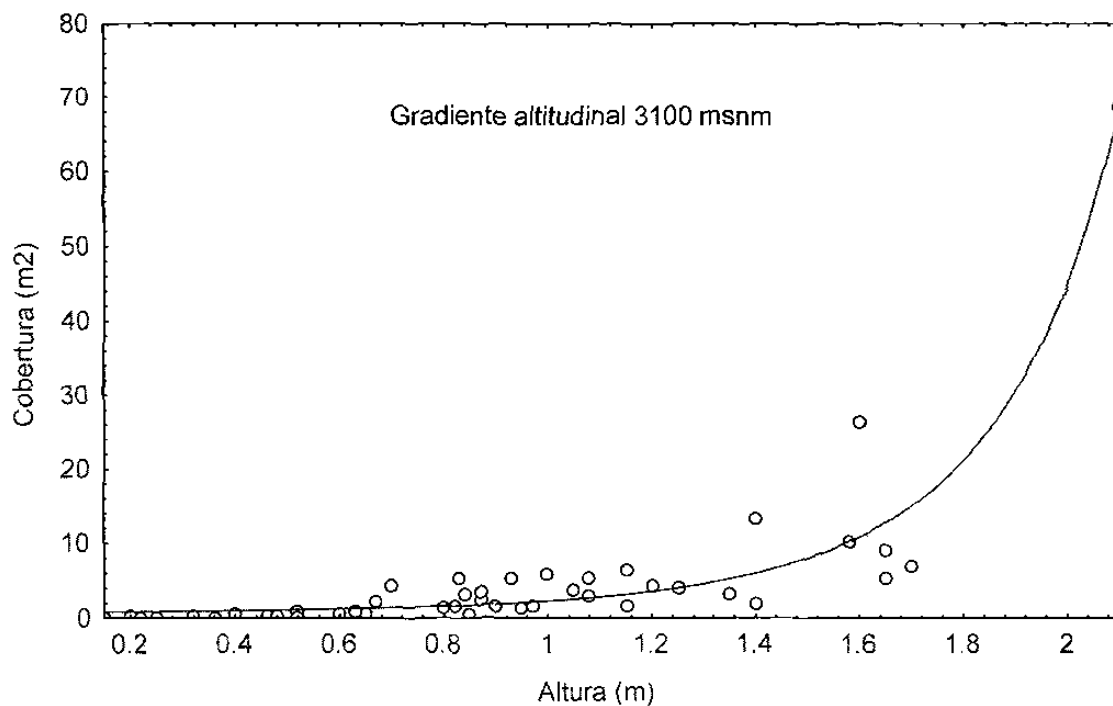


Figura 13: Relación de la cobertura en función de la altura para el gradiente altitudinal 1.

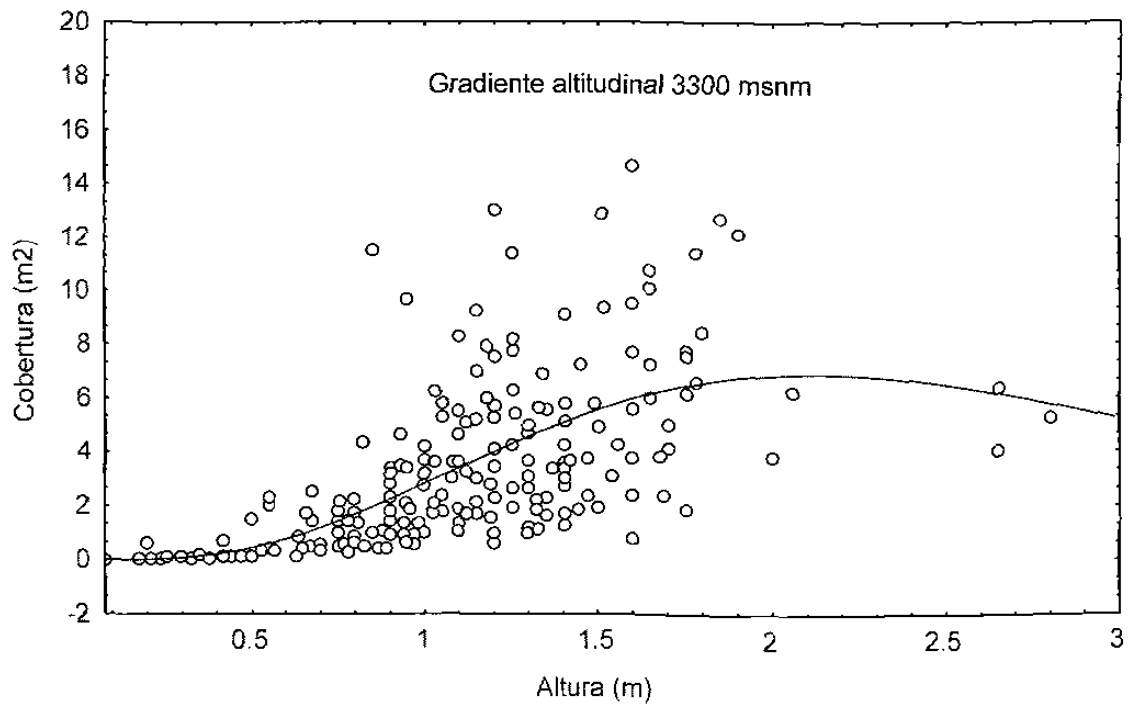


Figura 14: Relación de la cobertura en función de la altura para el gradiente altitudinal 2.

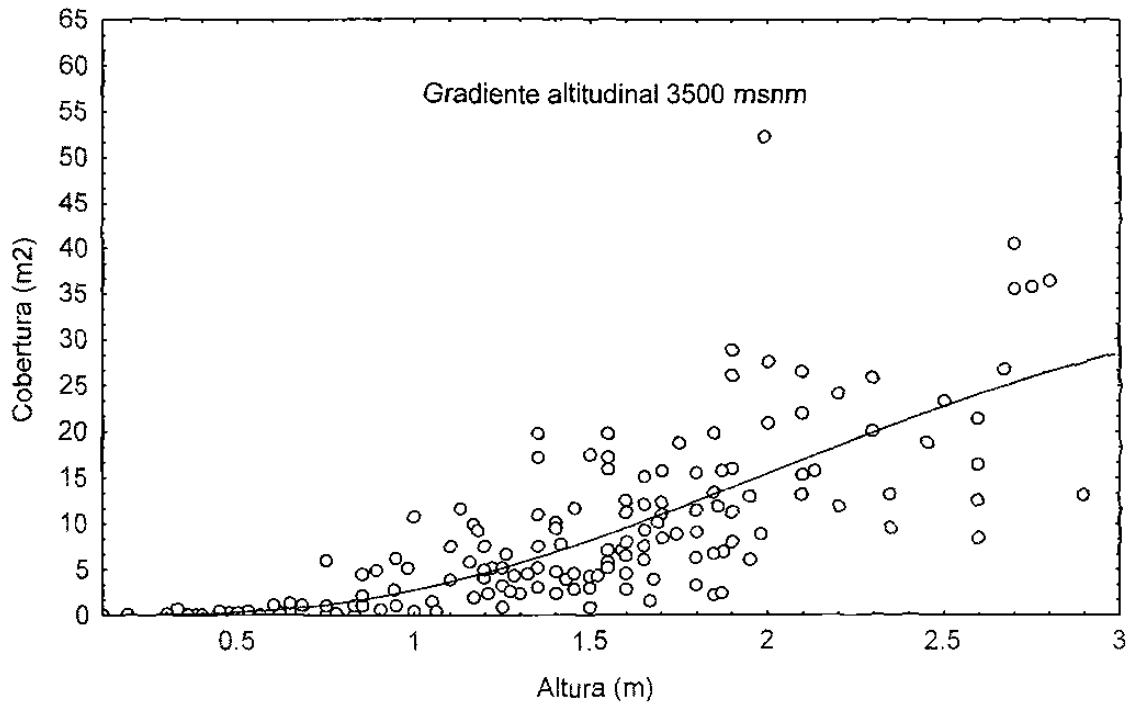


Figura 15: Relación de la cobertura en función de la altura para el gradiente altitudinal 3.

5.7 RELACIÓN DIÁMETRO/ALTURA DE *Pinus hartwegii* Lindl.

Parte esencial de un plan de manejo sustentable de recursos naturales es el conocimiento sobre el desarrollo que presenta la relación diámetro - altura. Lo anterior, se manifiesta en conocer el comportamiento en esta relación, para efectuar posteriormente una serie de procesos estadísticos sobre el cálculo volumétrico del rodal o de las especies en cuestión.

En lo correspondiente a la relación existente entre el diámetro y la altura, se evaluaron distintos modelos matemáticos para lograr establecer la mejor relación matemática, de acuerdo a los tres gradientes altitudinales.

El mejor modelo matemático que presento un mejor ajuste fue:

$$h = \exp\left[a_0 + a_1 * \ln(d) + a_2 * \ln(d^2)\right]$$

De acuerdo al modelo seleccionado se procesó la información, obteniendo una relación proporcional positiva entre ambas variables como se observa en la figura 16.

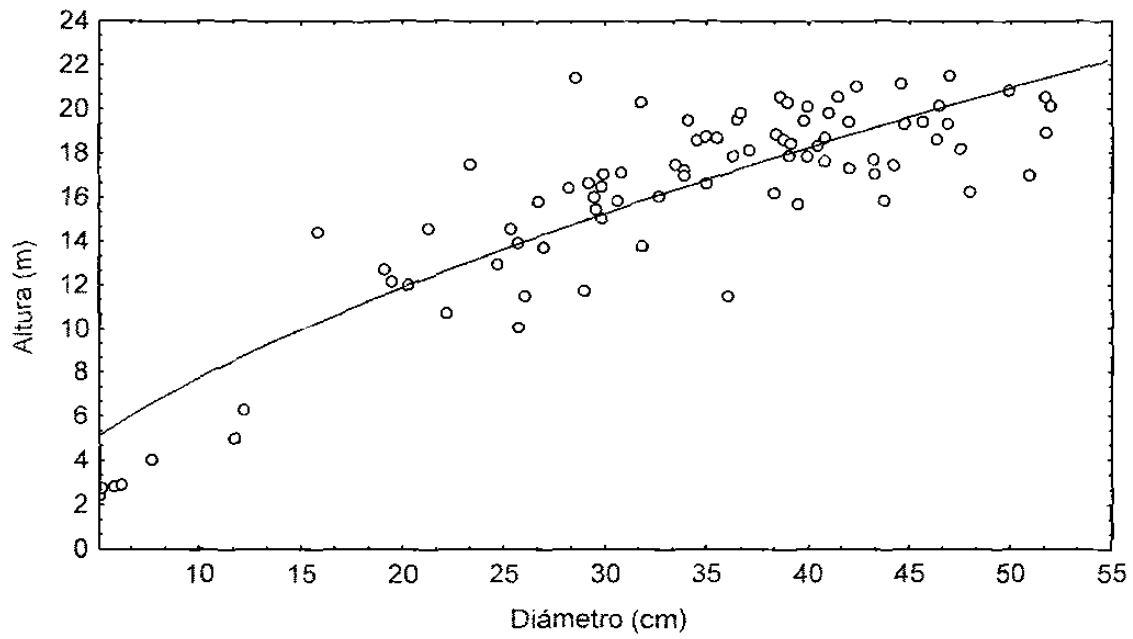


Figura 16: Relación de la altura en función del diámetro.

6. CONCLUSIONES

La superficie de distribución inicial de *Pinus culminicola* ha sido alterada por múltiples factores, principalmente del tipo antropogénico. El área incendiada presenta en la actualidad, dificultad para lograr la regeneración natural, debido al pastoreo extensivo y a las modificaciones en el ambiente, implícitas en la destrucción de la comunidad. Otros cambios en las comunidades se deben a la presencia de instalaciones del SENEAM (Servicio a la Navegación en el Espacio Aéreo Mexicano) que ocupa la fracción superior del Cerro Potosí. A su vez, el camino de acceso ocasiona la presencia de visitantes que provocan alteraciones diversas. Al mismo tiempo, la comunidad de *P. hartwegii* está siendo alterada por los aprovechamientos forestales, lo que ha causado un avance en el deterioro de *Pinus culminicola* hacia estas áreas. Asimismo, se observa la presencia de individuos jóvenes, indicativo de una activa regeneración de la comunidad por la eliminación de competencia, principalmente por procesos lumínicos, factor importante en el desarrollo.

Tales acciones constituyeron la parte esencial para estudiar la relación mutua entre *Pinus culminicola* y *P. hartwegii* bajo diferentes gradientes altitudinales en el Cerro Potosí, observando que esta variable actúa de manera primordial en la

distribución espacial de estas especies, influyendo sobre el número de individuos (abundancia) que se presenta a lo largo de los diversos gradientes. Para la especie *P. culminicola* conforme se incrementa el gradiente altitudinal, el número de individuos aumenta en forma proporcional al mismo, conformando un bosque dominante de esta especie; caso contrario para *P. hartwegii*.

Este mismo patrón de desarrollo ocurre también con la variable dominancia y cobertura. Con respecto a la dominancia relativa para *Pinus culminicola* se observa que existe un incremento de los valores promedio en función del gradiente altitudinal. Esta tendencia sucede en forma negativa para *P. hartwegii*, lo que deja grandes aberturas, produciendo la reproducción y ocupación de *P. culminicola*.

De acuerdo con la conclusión anterior, se procedió al análisis de la regeneración en función de la cobertura, encontrando que en la reproducción de *Pinus culminicola* se conjuntan distintas variables, tales como número de individuos, cobertura vegetal, condiciones climáticas, etc. Por lo que esta relación $[reg = f(cob)]$ no representa un patrón de estabilidad y atribuible al gradiente altitudinal, por lo que el análisis del patrón de desarrollo de la variable

regeneración tendrá que ser a través del conocimiento de los procesos florísticos y faunísticos del ecosistema principalmente.

Se efectuó un análisis matemático de la relación biológica de la relación biológica de la función cobertura - altura. En este sentido, se observó que existe una tendencia positiva entre ambas variables. Es decir a medida que se incrementa la altura, se desarrolla la cobertura. Tal patrón ocurre en los tres gradientes altitudinales estudiados, por lo que se concluye que la altura y la cobertura están estrechamente relacionados.

Por tal motivo se estudió *Pinus culminicola* por ser una especie endémica de la sección superior de la Sierra Madre Oriental del Noreste de México, analizándose en relación mutua con *P. hartwegii* en los diferentes gradientes altitudinales en el Cerro Potosí. Evaluando diversos parámetros dasométricos como altura, diámetro, cobertura, regeneración, etc. se obtuvieron resultados referentes a: densidad relativa, frecuencia relativa, dominancia relativa, así como número de individuos en función al gradiente altitudinal, para así concluir con el valor de Índice de Importancia para cada especie. Por tal motivo resulta de interés continuar con estudios tendientes a lograr el conocimiento sobre los distintos recursos biológicos del Cerro Potosí por sus características

vegetacionales propias, lo que será una necesidad prioritaria para emprender posteriores estudios encaminados a la preservación y manejo sustentable de este importante macizo montañoso.

7. RECOMENDACIONES

Por lo general, se tiene el pensamiento que los modelos matemáticos de crecimiento están referidos a la productividad o a la producción maderable. Sin embargo, se observa que su aplicación puede estar enfocada también a definir patrones de desarrollo en los diferentes ecosistemas forestales para un mejor entendimiento.

En el manejo sustentable de los recursos forestales, es importante tener un adecuado conocimiento sobre los aspectos cuantitativos y cualitativos existentes en el propio ecosistema para lograr una optimización en el aprovechamiento de los recursos naturales.

En el futuro, será necesario pensar en opciones de este tipo que conlleven junto con un manejo integral del bosque a la preservación del mismo, aprovechando al máximo, pero sin causar deterioro alguno, obteniendo los productos que de este sean demandados.

LITERATURA CITADA

Aguirre O. 1998: Manejo Forestal I, Facultad de Ciencias Forestales, U.A.N.L.
pp. 29-39

Alanís Flores, G., Cano, G., Rovalo, M. 1996: Vegetación y Flora de Nuevo León, Una guía botánico - ecológica. Editorial Monterrey. p. 42

Arias, R. 1997: Interacciones entre 4 especies de hongos ectomicorrizicos y dos especies de coníferas del Cerro el Potosí, Galeana, N.L., México. Tesis, Facultad de Ciencias Forestales. U.A.N.L. pp 17-27.

Beaman, J. y Andresen, J. 1961: A new species of *Pinus* from Mexico. *J. Arnold Arboretum* 42: pp. 437-441.

Beaman, J. y Andresen, J. 1966: The vegetation, floristics and phytogeography of the summit of Cerro Potosí, Mexico. *The American Midland Naturalist*. Vol. 75. 29 p.

- Cantú, C., Sariñana, R., Rodríguez, G., González, F., Treviño, E., Rocha, L., Hernández, S. 1997:** Evaluación de áreas naturales susceptibles de conservación ecológica en Nuevo León. Reporte Científico No. 35. Facultad de Ciencias Forestales, U.A.N.L. 45 pp.
- Capó, M. 1972:** Observaciones sobre la taxonomía y distribución de coníferas en Nuevo León, México. Tesis, Facultad de Ciencias Biológicas, U.A.N.L.
- Clutter, J. 1983:** Timber management. A quantitative approach. John Wiley and Sons, New York, 333 p.
- Cunia, T. 1974:** Independent versus dependent successive measurements. Proceedings IUFRO S4.02 Symposium "Monitoring Forest environment through successive sampling". pp 1-18.
- Davis, S y Johnson, K. 1987:** Forest management. McGraw-Hill. New York. 790 p.

DETENAL. 1977: Carta Edafológica, Galeana G14C56, SPP, México, Escala 1:50,000.

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

FAO. 1980: Estimación del volumen forestal y predicción del rendimiento. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la alimentación. Roma. 97 p.

Ferguson, D. 1997: Regeneration model for FVS variants, proceedings: Forest vegetation simulator conference. USDA-FS, Intermountain Research Station, General Technical Report INT-GTR-373

Gadow, K, and Brendenkamp, B. 1992: Forest management, Editorial Académica. Hatfield, Pretoria.150p.

García, A. 1989: Análisis de la flora y vegetación de la cima del Cerro Potosí municipio de Galeana, N.L., México. Tesis Facultad de Ciencias Biológicas , U.A.N.L.

García, A. y González, S. 1991: Flora y vegetación de la cima del Cerro Potosí, municipio de Galeana, Nuevo León, México. Acta Botánica Mexicana, No. 13:53-74

García, E. 1981: Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. U.N.A.M. 243 p.

Herrera, V. 1995: Elaboración de una tabla y tarifa de volumen *para Pinus hartwegii* Lindl., en el Cerro Potosí, Galeana, Nuevo León, Tesis, Facultad de Ciencias Forestales, U.A.N.L.

Jiménez, J., Kramer, H. y Aguirre, O. 1996: *Pinus culminicola*. Zur Entdeckung und Erhaltung einer mexikanischer Zwergkiefer. Forst und Holz. Alemania. pp. 664-667

Jiménez, J. y Aguirre, O. 1997: Crecimiento Forestal (simulación matemática). Facultad de Ciencias Forestales, UANL.

Jiménez, J., Aguirre, O., Treviño, E., Jurado, E. y González, M. 1999:
Patrones de desarrollo en un ecosistema de *Pinus culminicola* y
P. hartwegii. Revista Ciencia U.A.N.L. Vol. II, No. 1.

Loetsch F, Haller K. 1964. Forest Inventory, Vol I BLV Verlagsgesellschaft,
Munich.

Loetsch, F. y Haller, K. 1973: Forest Inventory, Vol II BLV Verlagsgesellschaft,
Munich.

Ludwing, J. y Reynolds, J. 1988: Statistical ecology, a primer on methods and
computing, John Wiley and Sons, New York. 337 p.

McDonald, J. 1990: The Alpine-subalpine flora of northeastern Mexico. Sida
14(1). pp. 21-28.

Oliver, J. 1993: Forest Stand Dynamics. John Wiley and Sons. 576 p.

Otto, H. 1994: Waldökologie. UTB für Wissenschaftler. Eugen Ulmer GmbH.
391 p.

Oviedo, C. 1996: Análisis preliminar en un ecosistema forestal de *Pinus culminicola* y *Pinus hartwegii*. Tesis Facultad de Ciencias Forestales, U.A.N.L.

Pacala, S., Charles, C. y Saponara, J. 1996: *Forest models defined by field measurements: Estimation, error analysis and dynamics*, Ecological Society of America, Ecological Monographs, 66(1), pp. 1-43.

Pielou, E., 1977, *Mathematical ecology*, John Wiley and Sons, 345 p.

Riskind, D. y Patterson, T. 1975: Distributional and ecological notes of *Pinus culminicola*. *Madroño* 23:3. pp.159-161

Rzedowski, J. 1978: *Vegetación de México*. Editorial Limusa, México. 431 p.

Sánchez, R., López, J. y Espinoza, M. 1990: Cambios en la comunidad de *Pinus culminicola* Andresen & Beaman en el Cerro Potosí, Nuevo León, México. *Notas Geográficas*, UNAM

Sánchez, R. y López, J. 1987: *Pinus culminicola* y sus asociaciones en la ladera sur del Cerro la Viga, Coahuila. Investigaciones geográficas. Boletín del Instituto de Geografía 21, pp. 21-43.

Schreuder, H., Gregoire, T. y Wood, G. 1993: Sampling methods for multiresource forest inventory. John Wiley & Sons. 425 p.

SEMERNAP. 1996: Programa de áreas naturales protegidas de México 1995-2000. 138 p.

Tapia, J. 1998: Ajuste de ecuaciones de volumen y funciones de ahusamiento para *Pinus teocote* Schl et Cham y *Pinus pseudostrobus* Lindl. En el estado de Nuevo León. Tesis. Facultad de Ciencias Forestales, U.A.N.L.

Turner, M. y Gardner, R. 1990: Quantitative methods in landscape ecology. The analysis and interpretation of landscape heterogeneity. Springer Verlag. 536 p.

Vanclay, J. 1994: Modelling forest growth and yield, applications to mixed tropical forests.

Critchfield, B. y Little, E. 1966: Geographic distribution, of the Pines of the world, USDA Forest Service. Misc. Publication 991.

