

---

# Universidad de Guadalajara

---

FACULTAD DE AGRONOMIA



ANALISIS ESTRUCTURAL DE RODALES SOBRESATURADOS DE  
*Pinus occarpa* Schiede. EN LA SIERRA DE MANANTLAN, JALISCO

---

## TESIS PROFESIONAL

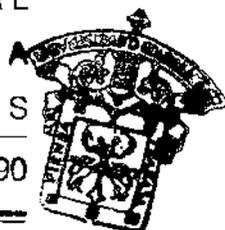
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
ING. AGRONOMO FORESTAL

P R E S E N T

MIGUEL OLVERA VARGAS

Guadalajara, Jalisco, Noviembre de 1990

---



LABORATORIO  
BOSQUE LA PRIMAVERA  
CENTRO DE DOCUMENTACION  
E INFORMACION

UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA  
FACULTAD DE AGRONOMIA

ANALISIS ESTRUCTURAL DE RODALES SOBRESATURADOS DE  
Pinus oocarpa Schiede. EN LA SIERRA DE  
MANANTLAN.

Miguel Olvera Vargas



**UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA**  
**FACULTAD DE AGRONOMIA**

Sección PASANTES  
Expediente ESCOLARIDAD  
Número 0354

Mayo 24 de 1990

C. PROFESORES:

ING. AGUSTIN GALLEGOS RODRIGUEZ, DIRECTOR  
M.C. EZEQUIEL MONTES RUELAS, ASESOR  
M.C. JORGE AVINA BEJAMEN, ASESOR

Con toda atención me permito hacer de su conocimiento, que habiendo sido aprobado el Tema de Tesis:

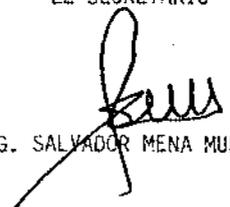
" ANALISIS ESTRUCTURAL DE RODALES SOBRESATURADOS DE Pinus oocarpa, -  
Schiede EN LA SIERRA DE MANANTLAN, JALISCO "

presentado por el (los) PASANTE (ES) MIGUEL OLVERA VARGAS

han sido ustedes designados Director y Asesores respectivamente para el desarrollo de la misma.

Ruego a ustedes se sirvan hacer del conocimiento de esta Dirección su Dictamen en la revisión de la mencionada Tesis. Entre tanto me es grato reiterarles las seguridades de mi atenta y distinguida consideración.

ATENTAMENTE  
"PIENSA Y TRABAJA"  
EL SECRETARIO

  
ING. SALVADOR MENA MUNGUIA

srd'



**UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA**  
FACULTAD DE AGRONOMIA

Sección PASANTES  
Expediente ESCOLARIDAD  
Número 0354

Mayo 24 de 1990

ING. JOSE ANTONIO SANDOVAL MADRIGAL  
DIRECTOR DE LA FACULTAD DE AGRONOMIA  
DE LA UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA  
PRESENTE

Habiendo sido revisada la Tesis del (los) Pasante (es)  
MIGUEL OLVERA VARGAS

titulada:

" ANALISIS ESTRUCTURAL DE RODALES SOBRESATURADOS DE Pinus oocarpa,  
Schiede EN LA SIERRA DE MANANTLAN, JALISCO "

Damos nuestra Aprobación para la Impresión de la misma.

DIRECTOR

*Agustín Gallegos R.*

ING. AGUSTIN GALLEGOS RODRIGUEZ

ASESOR

ASESOR

*Ezequiel Montes Ruelas*  
M.C. EZEQUIEL MONTES RUELAS

*Jorge Avina Berumen*  
M.C. JORGE AVINA BERUMEN

sd'

Al contestar este oficio cítese fecha y número

## DEDICATORIA

Para Elvira con todo mi amor.

A la memoria de mi Padre, Rafael.

A mis hermanos:

Jorge, Maria Luisa, Rafael, Bertha, Graciela, Lucila,  
Irene, y Guillermo.

gracias por todo su apoyo.

A mi padrino José Luis Correa.

A mis sobrinos con cariño.

## AGRADECIMIENTOS

Expreso mi sincero agradecimiento a mi amigo M.C. Saúl Moreno Gómez Director honorario por su constante dedicación para que yo terminara este trabajo, así como por sus valiosas aportaciones y observaciones al mismo.

Al Ing Diplo. Agustín Gallegos Rodríguez, M.C. Ezequiel Montes Ruelas y M.C. Jorge Aviña Berumen director y asesores respectivamente por sus recomendaciones y sugerencias.

Al M.C. Enrique Jardel Pelaéz Director del Laboratorio Natural las Joyas, por darme la oportunidad de trabajar en su equipo en la E.C.L.J. así como por su apoyo para la elaboración de este trabajo.

Al Biol. Victor Manuel Sánchez Bernal por su gran amistad y ayuda en la toma de datos de campo.

A mis amigos Graciela Gonzáles P. Angela Saldaña A. y Salvador García R.

Al M.C. Manuel Pío Rosales Almendra por su apoyo en la elaboración de este trabajo.

A Biol. Gloria Parada Barrera por la revisión ortográfica.

A todo el personal del Laboratorio Natural las Joyas.

## CONTENIDO

	Página
Indice de Figuras.....	i
Indice de Cuadros.....	ii
Resumen.....	iii
I.- Introducción.....	1
II.- Objetivos.....	3
III.- Antecedentes.....	4
3.1.- Estructura y Competencia.....	4
3.2.- Ley de los $-3/2$ o Ley de Autoaclareo.....	8
3.3.- Método del Índice de Densidad de Reineke....	10
3.4.- Causas de Mortalidad Dentro del Rodal.....	11
IV.- Metodología.....	15
4.1.- Descripción de Area de Estudio.....	15
4.1.1.- Ubicación.....	15
4.1.2.- Fisiografía.....	15
4.1.3.- Clima.....	15
4.1.4.- Geología.....	16
4.1.5.- Suelos.....	16
4.1.6.- Vegetación.....	16
4.2.- Descripción Botánica de la Especie.....	17
4.3.- Método de Muestreo.....	18
4.4.- Descripción General de los Sitios.....	19
4.5.- Análisis de Datos.....	21
V.- Reultados y Discusión.....	23
5.1.- Distribución Diamétrica.....	23
5.2.- Línea de Máxima Saturación.....	24
5.3.- Relación Edad - Altura Dominante.....	27
5.4.- Relación Edad - Número de Arboles.....	29
5.5.- Relación Edad - Diámetro Cuadrático.....	31
5.6.- Relación tasa de Incremento Relativo - Arboles Dominantes.....	33
VI.- Conclusiones.....	35
VII.- Recomendaciones.....	37
VIII.- Bibliografía.....	38

## INDICE DE FIGURAS

i

- Figura # 1.- Guía de densidad para encino como fue presentada por primera vez por Gingrich (USDA For. Serv. (1962).
- Figura # 2.- Espiral de mortalidad que ilustra la serie de los principales eventos que causan que causan la muerte de un árbol.
- Figura # 3.- Localización del área de estudio.
- Figura # 4.- Relación Dc - AB en donde se observa la tendencia que siguieron cada uno de los sitios muestreados.
- Figura # 5.- Valor obtenido del sesgo para cada sitio obtenido a partir del diámetro cuadrático medio.
- Figura # 5a. Ejemplo de la distribución diamétrica de algunos sitios.
- Figura # 6.- Distribución de los residuales del modelo 2 en la relación edad - altura dominante.
- Figura # 7.- Distribución de los residuales del modelo 1 en la relación edad - altura dominante.
- Figura # 8.- Distribución de los residuales del modelo 3 en la relación edad - altura dominante.
- Figura # 9.- Líneas estimadas mediante los 3 modelos probados en la relación edad - altura dominante.

Figura # 10.- Distribución de los residuales que presentó el modelo 18 para la relación número de árboles - edad.

Figura # 11.- Curva estimada a partir de la relación número de árboles - edad.

Figura # 12.- Modelos desarrollados por Deevey (1947) en los cuales se representa esquemáticamente las distribuciones diamétricas (densidad) de la relación número de árboles - edad.

Figura # 13.- Distribución de los residuales del modelo 1 en la relación diámetro cuadrático - edad.

Figura # 14.- Distribución de los residuales del modelo 2 en la relación diámetro cuadrático - edad.

Figura # 15.- Distribución de los residuales del modelo 3 en la relación diámetro cuadrático - edad.

Figura # 16.- Modelos ajustados para la relación Diámetro cuadrático - edad.

Figura # 17.- Distribución de los residuales del modelo probado en la relación tasa de incremento relativo - árboles dominantes.

## INDICE DE CUADROS

- Cuadro # 1.- Cambios ecológicos ocurridos por la muerte de los árboles.
- Cuadro # 2.- Valores obtenidos de las variables tomadas en campo.
- Cuadro # 3.- Resultados de los análisis estadísticos aplicado a cada una de las relaciones evaluadas.

Este trabajo describe la estructura de rodales con alta competencia intraespecífica de Pinus oocarpa Schie. en la Sierra de Manantlán, se analizó la distribución diamétrica de estos sitios en diferentes etapas de desarrollo, se estimó la línea de máxima saturación (b1), utilizado el modelo desarrollado por Reineke (1933). Se estimó la tasa de incremento relativo (TIR) de los árboles dominantes, así como otras relaciones útiles para el manejo de la densidad.

En los resultados obtenidos se observó que Pinus oocarpa en la Sierra de Manantlán es una especie que tiene buen crecimiento bajo condiciones de saturación, ya que se obtuvo mayor un número de árboles mediante la línea que define la máxima saturación, en comparación con otras especies.

## I.- INTRODUCCION.

El bosque es un complejo ecosistema cuya estructura y desarrollo envuelve muchos procesos. En el dosel superior los árboles compiten con sus vecinos por más espacio de crecimiento, nutrientes, luz y humedad, en medio de la influencia de factores externos tales como: insectos, enfermedades, incendios, etc. Estos árboles viven año con año hasta que algunos mueren a causa de la pérdida de la competencia, modificando la estructura y composición del bosque; siendo este proceso a un ritmo más acelerado, en los sitios con mayor densidad de población. (Buchman, et al. 1983)

El término densidad de población, se refiere al espacio físico que ocupan los árboles en un sitio. Una forma de medir la densidad de un sitio es contando el número de árboles por unidad de superficie, expresada generalmente en número de árboles, área basal, o volumen por hectárea. (Harold y Hocker, 1984)

El control de la densidad es una parte integral en el manejo forestal intensivo. Comúnmente el objetivo central del manejo de la densidad es homogenizar el espaciamiento entre los individuos, de tal manera, que el crecimiento de los árboles en diámetro y altura no sea afectado por los procesos competitivos. En este sentido, la densidad deseable a mantener sobre un sitio, generalmente está en función de los objetivos que se persigan, así como de la composición de las especies; teniendo mayores efectos la manipulación de ésta sobre rodales coetáneos monoespecíficos.

Para el manejo de la densidad, es necesario conocer en forma precisa la estructura que tiene cada rodal, es decir, contar con información del número de árboles por unidad de superficie, distribución diamétrica, clases de edad, incrementos, área basal, etc. es de gran utilidad para aplicar los tratamientos necesarios a cada sitio, sobre todo en aquellos rodales con alta competencia.

El estudio de los rodales con alta competencia intraespecífica es de gran interés desde el punto de vista silvícola, ya que ha servido como referencia para cuantificar niveles de saturación a través de la comparación del desarrollo de sitios con baja población, son también utilizados para desarrollar modelos elementales de crecimiento de masas forestales, como lo son las guías para el manejo de la densidad, las cuales representan las relaciones dimensionales de un rodal en forma gráfica con parámetros rápidos y fáciles de tomar en campo (diámetros y alturas). Estos modelos son una herramienta útil para predecir el resultado de algunas actividades silvícolas como son los aclareos.

El presente trabajo está enfocado a dar una descripción general de las características que presentan los rodales con alta competencia intraespecífica en la Estación Científica las Joyas, de la Sierra de Manantlán Jalisco, los cuales se pretende que sirvan como una base teórica en el diseño de tratamientos silvícolas, para de esta manera contribuir en el aprovechamiento racional de los bosques mexicanos, siendo necesario realizar en un futuro trabajos más específico de los tópicos aquí tratados.

BIBLIOTECA ESCUELA DE AGRICULTURA

## II. OBJETIVOS:

## General:

Analizar la estructura de rodales con alta competencia intraespecífica de Pinus oocarpa Schiede. en la Sierra de Manantlán.

## Particulares:

- a) Describir la distribución diamétrica de los rodales con alto nivel de competencia intraespecífica de Pinus oocarpa.
- b) Definir en forma preliminar la línea de máxima saturación de la relación Diámetro cuadrático - Número de árboles.
- c) Captación de una base de datos para contribuir en la construcción de una guía de densidad para Pinus oocarpa.

### III. - ANTECEDENTES.

#### 3.1. - Estructura y Competencia.

Husch, et al. (1982) definen que la estructura de un rodal se refiere a la distribución de las especies y el tamaño de los árboles. Esta estructura es el resultado de los hábitos de crecimiento de las especies, de las condiciones del medio y de las prácticas de manejo bajo las cuales se ha originado.

Gallegos (1988) menciona que cuando se habla de estructura de los árboles, se refiere a la posición vertical y horizontal de los mismos; por ejemplo, la distribución horizontal se manifiesta con el área de crecimiento de cada individuo y la estructura vertical se refleja con la altura. Para rodales de pino en su estado joven, la distribución horizontal de los árboles (dispersión) es de gran importancia, ya que en esta fase, es donde más se manifiesta el manejo de la densidad lo cual se representa con la calidad de los individuos y el potencial volumétrico.

Spurr y Barnes (1982) citan que los cambios en la estructura y la composición del bosque son el resultado de la constante demanda que tiene cada árbol por más espacio de crecimiento y de la muerte eventual de otros, incluso de los más dominantes. El aumento constante de tamaño de los árboles del rodal provoca la competencia, que trae como resultado una disminución del espacio para la mayor parte de las especies y eventualmente su desaparición.

Benjamin y Hardwick (1986) reportan que el crecimiento y la interacción de los individuos puede causar cambios temporales en la distribución diamétrica en las poblaciones coetaneas monoespecíficas; sin embargo, algunos factores tales como la variabilidad en el tamaño inicial, el vigor fisiológico y el micrositio, afectan el desarrollo de los árboles, por lo tanto, las diferencias en la distribución diamétrica es inherente a la dinámica del rodal sobre el tiempo, aún sin competencia.

Radosevich y Osteryoung (1987) citan que la competencia se

inicia desde el momento en que las plantas agotan sus reservas parentales después de la germinación. El crecimiento depende de la habilidad de las plantas de extraer los recursos necesarios del medio donde crece; la fuente de los recursos puede ser abundante en algunos sitios pero la limitante de éstos es más frecuente y puede ser causada por indisponibilidad, fuente inadecuada o por el consumo de los árboles vecinos, manifestándose más en sitios con alta densidad.

Brand y Magnussen (1988) describen el proceso de competencia en términos de simetría o asimetría, refiriéndose que la competencia simétrica implica que cuando un recurso esta por abajo de las necesidades totales de la población, este se distribuye entre todos los individuos de acuerdo a su tamaño (asimétrico en caso contrario). También se describe si es colateral o unilateral, es decir, cuando en un rodal todos los árboles son afectados en distintos grados de intensidad por el proceso de competencia, de tal manera que los árboles grandes son afectados en su desarrollo por los árboles pequeños y viceversa (colateral), siendo unilateral cuando solo los árboles pequeños se ven afectados por los árboles dominantes.

Harper (1977) citado por Radosevich y Osteryoung, (1987) describe tres tipos de competencia que pueden presentarse en un rodal, estas son: competencia dentro de un mismo individuo (p. ej. raíces, hojas, ramas, y clones); competencia entre individuos de la misma especie pero formados de diferente semilla, llamada competencia intraespecífica; y competencia entre individuos de diferente especie, llamada competencia interespecífica.

Harold y Hocker Jr., (1984); Radosevich y Osteryoung, (1987) citan que la competencia intraespecífica se manifiesta debido a que existe una sobrepoblación, en donde los árboles compiten por recursos similares conduciéndose hacia los mismos requerimientos del nicho, siendo entonces la competencia intraespecífica, la interacción negativa entre plantas de la misma especie. La

competencia interespecífica, es la interferencia adversa entre plantas de diferente especie. La teoría actual de la evolución

sostiene que la presión ejercida por la competencia interespecifica, conduce a las diferentes especies de una misma comunidad a utilizar diferentes partes del ambiente en donde el efecto competitivo es minimizado. - p. ej. separación del nicho.-

Roush y Radosevich, (1985); Radosevich, (1987); y Radosevich y Osteryoung, (1987) mencionan que en el estudio de la competencia, es importante considerar tres factores principales: primero, el número total de plantas (densidad), segundo la proporción de cada especie presente, y tercero la distribución espacial de cada una de las especies presentes. Existen varios diseños experimentales empleados en dasonomía para el estudio de las interacciones competitivas que utilizan los factores previamente mencionados, estos métodos generalmente caen dentro de tres tipos de experimentos:

- a) Diseños aditivos: Este método es quizás es el más usado para el estudio de la competencia; en este experimento dos o más especies crecen juntas, pero en la mayoría de estudios son conducidos con solo dos especies (p. ej. un cultivo y una mala hierba) en este caso la densidad de una especie, comúnmente el cultivo es mantenida constante, mientras que la otra, la mala hierba, es variada; en este método el arreglo espacial entre plantas se asume que es uniforme, por lo que el cultivo es plantado con un patrón uniforme y por lo tanto la influencia de la competencia intraespecifica en la plantación es también constante. El método de diseños aditivos ha sido criticado debido ha que se considera inadecuado para determinar la influencia de la densidad y la proporción de las especies sobre el resultado de la competencia.
  
- b) Diseños sustitutivos: (series de reemplazo) Harper citado por Radosevich (1987) sugirió que el método de diseños sustitutivos para estudio de la competencia podría cubrir las deficiencias del método de diseños aditivos; la premisa básica del método de diseños sustitutivos, que es la producción (volumen de maderal)

en un rodal mezclado puede ser predecido de la producción de cada una de las especies cuando crecen separadamente; de tal manera que el diseño sustitutivo o series de reemplazo, estudia la relación interactiva entre las dos especies cuando crecen juntas. Esto requiere que el total de la densidad (especie A más especie B) sea mantenida constante y que la dos especies sean establecidas variando la proporción de cada una. Cada especie además debe estar creciendo sola para evaluar la competencia intraespecífica.

- c) Diseño sistemático: Radosevich (1987) menciona que este método primeramente fue evaluado por Nelder (1962) y ha sido restringido principalmente al estudio de la competencia intraespecífica. El principio básico de este diseño experimental, consiste en variar la densidad y la distribución espacial sistemáticamente mediante una serie de círculos concéntricos de diferentes radios, en donde el área ocupada por planta o la cantidad de espacio disponible para cada planta aumenta conforme aumenta el radio del círculo.

Gallegos, (1988) menciona que este método consiste en un número concéntrico de círculos a distancias variables, los cuales son interceptados por radiaciones (líneas) que parten del centro del círculo, en el punto de intersección entre la línea de radiación y el círculo, se obtiene los puntos donde se debe plantar el árbol. El ángulo de las líneas de radiación es de 18 grados, partiendo del centro del círculo; el método de Nelder basa sus principios en las siguientes funciones trigonométricas:

$$* R_x = \frac{Ax}{2 \operatorname{sen} \frac{\alpha}{2}}$$

$$* Ax = rx \cdot 2 \operatorname{sen} \frac{\alpha}{2}$$

Donde:

$Rx$  = distancia entre árboles.

$Ax$  = distancia entre líneas.

$\alpha$  = ángulo de radiación.

2 = constante

Radosevich, (1987) cita que la ventaja del experimento de Nelder, es que los efectos de la densidad puede ser estudiada sin necesidad de cambiar el orden del patrón de plantación, además de que sólo se requiere de una área pequeña para examinar el efecto de la densidad a varios niveles de saturación.

### 3.2.- Ley de los $-3/2$ o Ley de autoaclareo.

White, (1980); y Westoby, (1984) citado por Perry, (1985) mencionan que a medida que la competencia se intensifica durante el desarrollo del rodal las plantas suprimidas eventualmente mueren y comienza un "autoaclareo"; se ha utilizado la Ley de los  $-3/2$  para describir la relación entre la mortalidad y tamaño promedio de los árboles, una vez que la mortalidad asociada a la competencia ha comenzado. Este modelo asume un porcentaje constante de mortalidad asociada a un porcentaje de incremento en el tamaño promedio de los individuos del rodal, de esta manera el número de plantas decrece exponencialmente con el tiempo.

Hibbs, (1987) cita que la ley de autoaclareo ha sido frecuentemente usada para describir el efecto de la competencia y la relación que existe entre el tamaño promedio de las plantas y

la densidad del sitio. El índice de densidad de Reineke expresa la relación entre el diámetro promedio y la densidad del sitio, este índice se ha comparado matemáticamente con la ley de autoaclareo, el cual describe la relación matemática entre el tamaño máximo promedio del sitio y la densidad del mismo.

Harper, (1977); Drew y Fewelling, (1977), (1979); Hibbs, (1987) citan que para cultivos con especies herbáceas anuales, los investigadores japoneses (Yoda y col. 1963), encontraron que experimentaban un autoaclareo; una recta logarítmica con pendiente de  $-1.5$  representaba el tamaño máximo vegetal en función de la densidad sin considerar la edad. Esta relación es denominada "ley de los  $-3/2$  o ley de autoaclareo" la cual describe el tamaño máximo de las especies en relación con la densidad de la localidad.

Hibbs, (1987) menciona que en la ley de autoaclareo, el logaritmo de el tamaño promedio de las plantas (peso o volumen) es dado como una función lineal de el logaritmo de la densidad (número de árboles). En parcelas experimentales la inclinación de esta función ha caído constantemente con un valor de  $-1.5$  aproximadamente. El intercepto "y" o valor de la función es específico para cada especie e independiente de las condiciones del sitio, tal como la fertilidad.

Newton, (1988) cita que observaciones hechas sobre el comportamiento de la estructura de los rodales con alta competencia intraespecífica en diferentes etapas de desarrollo, y apoyadas en los supuestos de la ley de los  $-3/2$ , han servido como base en la construcción de guías para el manejo de la densidad Fig. 1 (Drew y Flewelling, 1977, 1979; Solomon, 1977; Solomon y Leak, 1986; Leary y Stanfield, 1986; McCarter y Long, 1986; Hibbs, 1986). Estos diagramas del manejo de la densidad del sitio están basados fundamentalmente en las interrelaciones entre la densidad, mortalidad, tamaño y producción en varios estados de

desarrollo.

En la actualidad la ley de autoaclareo ha sido objeto de serios cuestionamientos por algunos investigadores. Zeide (1985, 1987, 1988). Menciona que la pendiente de autoaclareo no permanece constante durante el tiempo, debido a que algunos supuestos en los cuales se fundamenta la ley de los  $-3/2$  no son verdaderos en la naturaleza, como es el hecho de que las relaciones alométricas entre la copa y el fuste no son siempre iguales, ya que cambian conforme crece el árbol debido a razones ecológicas y mecánicas. Asimismo, los claros en un rodal provocados por la caída de árboles maduros, ocasiona una disminución en la pendiente porque los árboles residuales no alcanzan a cubrir el espacio abierto ocasionado por la muerte de árboles de grandes dimensiones, lo que hace que la línea sea curva (en escala log-log) y no recta.

### 3.3.- Método del índice de densidad de Reineke.

Otro modelo que relaciona el tamaño promedio de los árboles y su número es el desarrollado por Reineke en 1933 (Daniel et al., 1982; McCarter y Long, 1986; Long, 1988; Purri y col., 1988). Este índice puede ser la mejor herramienta, cuando el manejo intensivo de rodal requiere de un método refinado para regular la densidad y ajustarla a metas previamente establecidas. Reineke descubrió que cualquier rodal puro, bien poblado y de edad uniforme, que presente un diámetro promedio del rodal, tiene aproximadamente el mismo número de árboles por unidad de superficie, que cualquier otro rodal puro, bien poblado y de edad uniforme de la misma especie y que tenga el mismo diámetro promedio del rodal.

Stout y Larson, (1988) citan que el índice de densidad de Reineke, compara el número de árboles por unidad de superficie con el número máximo de árboles de un rodal para el mismo

diámetro cuadrático medio ( $D_c$ ). La línea que representa la máxima densidad esperada para un diámetro promedio en particular es una línea curva ajustada a los mínimos cuadrados; esta línea muestra una disminución del número de árboles conforme el diámetro cuadrático aumenta, siendo su ecuación:

$$-1.6$$

$$* IDR = (D_c/25)$$

Daniel et al. (1982) reportan que mediante el uso de una serie de líneas paralelas a la línea de referencia, puede transformarse el número de árboles por unidad de superficie de cualquier diámetro promedio del rodal, a una densidad equivalente a un diámetro promedio de 25 cm. (10 pulg.). Así pues, el índice de densidad del rodal de Reineke, es el número de árboles a un diámetro promedio del rodal de 25 cm. Utilizando esta metodología 4000 árboles por unidad de superficie a un diámetro promedio de 5 cm. equivalen en densidad a 300 árboles por unidad de superficie a un diámetro promedio de 25 cm. y el índice de densidad del rodal es de 300.

### 3.4.- Causas de mortalidad dentro del rodal.

Husch, et al. (1982) reportan que la estructura de un rodal cambia año con año debido al crecimiento de los árboles, a las cortas para aprovechamientos forestales, y a la mortlidad natural o inducida. La mortalidad, es el número o volúmen de árboles que periódicamente mueren debido a causas naturales tales como la competencia, senectud, insectos, enfermedades y en algunos casos la muerte de los árboles es causada por los fenómenos meteorológicos; la muerte de los árboles puede ser insignificante o catastrófica y puede ocurrir en cualquier periodo de su crecimiento.

Franklin y col. (1987) citan que la muerte de los árboles es tan común en los sitios forestales, que por medio de la

observación podría ser lógicamente asumible. Algunas causas de muerte son obvias, mientras que otras surgen de eventos que suceden repentinamente como los incendios forestales. Pero los patrones de muerte de los árboles son complejos, prácticamente hablando la información sobre la mortalidad es esencial para el cálculo de la productividad del bosque, así como para la asignación de esfuerzos para la protección forestal.

Spurr y Barnes (1982) mencionan que existen varias maneras de explicar la mortalidad dentro de un rodal, una sería la debida al efecto de la competencia, la senectud y la muerte causada por los agentes externos. En el caso de la competencia, se debe a que generalmente algunos árboles crecen inevitablemente más rápidamente que otros tomando más espacio para su crecimiento, cosecuentemente otros árboles son suprimidos y posteriormente mueren.

Franklin y col. (1987) citan que la mortalidad puede ocurrir indistintamente en cualquier etapa de desarrollo del rodal; dependiendo de la intensidad de la mortalidad sucede una serie de cambios ecológicos dentro y fuera del sitio donde ocurrió (Cuadro 1). De esta manera, la mortalidad es generalmente el resultado de un complejo de interacciones entre múltiples causas; la espiral de la declinación por enfermedad de Manion's (1981) puede ser generalizada a una espiral de mortalidad (Fig. 2) reflejando la acumulación y contribución secuencial de varios eventos y factores.

Waring (1987) menciona que generalmente los árboles mueren cuando ellos no pueden adquirir o movilizar suficientes recursos que les permita cubrir la cantidad de nutrientes que necesitan de acuerdo al estado de desarrollo en que se encuentre, haciéndose más difícil este proceso en los sitios con alta competencia intraespecífica.

Reukema y Bruce (1977) citan que el efecto de la alta densidad se observa en la mortalidad presente en los rodales sobresaturados, estando la tasa promedio de mortalidad en función de la tasa de crecimiento en diámetro del rodal.

Shugar (1984) menciona que debido a la longevidad y cosecuentemente a la baja probabilidad anual de muerte, la tasa de mortalidad es un parámetro difícil de calcular. La muerte de los árboles es consecuencia de tres procesos generales: primero, los árboles de cualquier edad tienen una probabilidad de muerte que está estrechamente relacionada a la tasa de crecimiento; segundo, la mortalidad se presenta cuando la tasa de crecimiento está por abajo del crecimiento mínimo anual; tercero, la fuente de muerte es ocasionada debida a los efectos de aprovechamientos forestales y a los fenómenos meteorológicos.

Buchman (1985) desarrolló un modelo teórico para evaluar la mortalidad de las especies dentro de la región de los Grandes Lagos en E.U.A., basado sobre tres principios biológicos y extensivo a un modelo de sobrevivencia. Este modelo se fundamenta sobre tres premisas:

1.- La probabilidad de muerte para los árboles vigorosos es bajo, pero no cero. Este valor limitante tiene poca relación al tamaño del árbol.

2.- No todos los árboles de bajo vigor pueden morir. Esta probabilidad depende sobre el tamaño del árbol, la mortalidad más baja ocurre fuera de la etapa de juventud, pero antes de la senectud.

3.- La tasa de mortalidad decrece rápidamente conforme incrementa el vigor.

Drew y Flewelling (1979) al respecto mencionan que la

mortalidad no puede ser predecida tomando como base el tamaño de los árboles y la densidad del rodal, de tal manera que la densidad no es un agente casual de mortalidad. La mortalidad dentro de un rodal es debida a factores ambientales, patológicos o entomológicos, que pueden impactar en cualquier punto de desarrollo de un rodal, pero los cuales es mucho más probable que ocurran en rodales cuyo vigor está en declinación.

#### IV.- METODOLOGIA.

##### 4.1.- Descripción del Area de Estudio.

###### 4.1.1.- Ubicación.

La Sierra de Manatlán se localiza al suroeste del estado de Jalisco, comprendida en una porción del complejo montañoso denominado Sierra Madre del Sur, misma que corre desde Puerto Vallarta, en la costa del pacífico y confluye en el llamado Eje Neovolcánico Transversal, esta zona se localiza entre las coordenadas 19°26'47'' y 19°42'05'' de latitud norte y 103°51'12'' y 104°27'03'' de longitud oeste (Fig. 3). Esta ubicación la coloca en forma natural entre dos reinos bióticos: por un lado el Neártico y por otro, el Neotrópico, por lo que es común encontrar elementos florísticos y faunísticos típicamente tropicales que marcan su límite norte de distribución a la parte sur de la sierra. Su altura sobre el nivel del mar oscila entre 600 y 2860 mt. Se calcula una extensión aproximada de 135,000 ha (Guzmán, 1985).

###### 4.1.2.- Fisiografía.

Manatlán esta conformada por rocas ígneas en la parte occidental, que es la que presenta mayores altitudes (2800 msnm) la región oriental es una formación sedimentaria del tipo Karsico. Los suelos son jóvenes (Entisoles e Inceptisoles); un pequeño porcentaje son suelos ya desarrollados. La Sierra tiene 17 cuencas hidrográficas, que van a desembocar en tres sistemas fluviales de importancia regional: El Purificación. El Ayuquila y El Marabasco; este último se origina en la Sierra de Manatlán. (LNLJ, 1987).

###### 4.1.3.- Clima.

El clima es templado subhúmedo (Cw2) de la clasificación de Köppen modificado por García (1976), con temperatura media anual de 18 C, la precipitación pluvial anual varía entre 1500 y 1800 mm, con un régimen de lluvias ocasionales en invierno, las

nieblas son frecuentes, excepto en la temporada más seca. (Anaya 1989).

#### 4.1.4.- Geología.

El material geológico de la zona, es de origen ígneo encontrándose los siguientes tipos de rocas: rocas ígneas extrusivas, predominando los porfidos o traquitas, basaltos y andesitas (Quintero, 1988) citado por Anaya (1989).

#### 4.1.5.- Suelos.

Los suelos predominantes en el área corresponden al orden de los Alfisoles (USDA, 1975) en un 72% aproximadamente, estos son suelos lavados con acumulación de arcillas en los horizontes subsuperficiales, estos suelos son más o menos fértiles, de texturas medias a finas conforme aumenta la profundidad del suelo y el pH ácido. Le siguen en menor proporción los Ultisoles, estos son suelos maduros e intemperizados poco fértiles, en estos suelos predominan las texturas medias en los horizontes superficiales con pH ácidos y por último los Inseptisoles son suelos inmaduros, presentan un horizonte de cambio, conservando las características del material madre; en estos suelos predominan los pH ácidos, estos son suelos de fertilidad moderada (Quintero, 1988) citado por Anaya (1989).

#### 4.1.6.- Vegetación.

La cobertura vegetal en el área de estudio está formada principalmente por bosque de pino, que ocupa el 54% de su superficie. Esta comunidad de aspecto siempre verde, está compuesta por Pinus douglasiana, P. oocarpa P. herreras, mezclados con encinos (Quercus candicans, Q. acutifolia, Q. elliptica), Arbutus xalapensis y otras latifoliadas.

El bosque mesófilo de montaña es de importancia por su extensión cubriendo el 25% del área, confinado principalmente a las cañadas y laderas de pendientes pronunciadas, en sitios donde

las neblinas son frecuentes. Es una comunidad con gran riqueza florística. Entre los árboles que forman esta vegetación se hallan: Quercus uxoris, Q. candicans, Q. salicifolia, Magnolia aff. schiedeana, Carpinus tropicalis, Cornus disciflora, Juglans major, Fraxinus uhdei, Ostrea virginiana y Tilia mexicana entre otras. Sobre este sustrato arbóreo crecen helechos, orquídeas, cactáceas y otras plantas epífitas (Anaya, 1989).

#### 4.2.- Descripción Botánica de la Especie.

##### Pinus oocarpa Schiede.

Arbol de 12 a 20 mt. de alto, alcanzando en ocasiones hasta los 25 mt. por 40 a 75 cm. de diámetro; copa redondeada y compacta; ramas ascendentes cuando jóvenes y horizontales cuando viejos; delgadas, fuertes extendidas. Ramillas morenas, ásperas al principio y después escamosas; corteza agrietada, oscura o grisácea, con placas delgadas y largas, casi rectangulares. Acículas en grupos de 5, rara vez 3 o 4; de 17 a 30 cm. de largo, aglomeradas, y trianqualres, de color verde claro, brillantes, tiesas y ásperas; bordes finamente aserrados. Dos haces vasculares. Conos ovoides, de 5 a 8 cm. de largo. El cono abierto asemeja una roseta simétrica de hasta 10 cm. de diámetro; de color ocre con tinte algo verdoso, brillante; por pares o en grupos de tres; persistentes, sobre el pedúnculo de 2 a 3 cm. de largo, que generalmente cae con el cono. Escamas gruesas, moreno oscuras, aplastada en las escamas cercanas a la punta y cúspide con una finísima espina extendida y pronto caediza. Semillas pequeñas, alargadas y oscuro-moteadas, de 7 mm. con ala café oscura de 10 a 15 mm. de largo y engrosada en la base. Distribución: Chiapas, Chihuahua, Durango, Guerrero, Hidalgo, Jalisco, México, Michoacán, Morelos, Nayarit, Oaxaca, Puebla, Sinaloa, Zacatecas. (Eguiluz, 1985).

#### 4.3.- Método de Muestreo.

En este trabajo se muestrearon 30 sitios establecidos en donde por observación se localizaron rodales sobresaturados que representaron a todas las etapas de desarrollo de Pinus oocarpa Schiede dentro del área de estudio. El tamaño de sitio varió de 100 a 300 mt. cuadrados de acuerdo al estado de desarrollo en que se encontraba el rodal; para la delimitación de los sitios se utilizó un cable compensado de diferentes radios.

En cada uno de los sitios muestreados, se registró las características generales del sitio tales como: exposición, pendiente, azimut, a.s.n.m. y paraje.

El conteo de los árboles en pie vivos y muertos se llevó a cabo numerándolos en forma progresiva anotando en una libreta de campo los siguientes datos: el diámetro normal (a una altura de 1.30 mt. sobre el nivel del suelo), la altura, edad, longitud de copa, clase silvícola, el grosor de corteza y el incremento en cada una de las clases silvícolas (para determinar la edad, el grosor de la corteza, y el incremento, se tomaron 3 árboles de cada clase silvícola por sitio).

La clase silvícola se clasificó en cinco rangos con respecto a la altura que dominaba en el dosel, tomando como referencia la clasificación de Kraft la cual consta de cinco categorías, estas son: 1.- dominante: si la punta del árbol sobresalía del nivel general de sitio. 2.- codominante: si la punta del árbol estaba dentro del nivel general del sitio. 3.- intermedio: si se encontraba a una altura por abajo de del nivel general del sitio. 4.- suprimido: al nivel más bajo de la altura del sitio, generalmente árboles moribundos. 5.- Árboles muertos.

La longitud de la copa se estimó visulmente en porcentaje con respecto a la altura total del árbol, evaluada desde la punta

hasta la última rama viva.

Para estimar la tasa de incremento relativo, se midió la amplitud de los últimos cinco anillos de crecimiento, estimando al mismo tiempo la edad del rodal, contando el número total de anillos de la viruta extraída. En los sitios jóvenes donde no fue posible determinar la edad por medio del taladro de Pressler, se contó el número de internodos.

Para evitar la remediación de los árboles a cada uno se les colocó una cinta adhesiva de papel a la altura de medición.

#### 4.4.- Descripción General de los Sitios.

En general todos los sitios presentaron las mismas características fisiográficas, de tal manera que solo se mencionan los valores extremos de cada una de las variables medidas en campo. (Cuadro 2)

En los rodales muestreados de Pinus occarpa el rango de edades varió de los 6 años en el rodal más joven, a los 33 en los más maduros, este rango de edades no es continuo ya que algunas edades intermedias de este rango no se encuentran en el área de estudio para esta especie, debido a los efectos de antiguos aprovechamientos forestales.

El porcentaje de mortalidad más bajo se registró en los sitios 1 y 15, los dos con 5%, tienen una densidad de 4,120 y 880 árboles por ha. respectivamente. En el sitio 1 se estimó un diámetro medio de 8.9 cm. y en el 15 fue de 26.2 cm. Los sitios en donde se observó mayor porcentaje de mortalidad fueron el 7 y el 30 los dos con el 33% y con una densidad de 6,840 y 1,790 árboles por ha. respectivamente, el sitio 7 tiene un diámetro medio estimado de 4.8 cm. y el 30 de 7.55 cm.

Las alturas de los árboles dominantes fue en el sitio más joven de 6.5 mt. y en el más maduro de 30 mt. Para los árboles suprimidos la altura inferior fue de 4.0 mt. y la mayor se registró en 27 mt.

Los límites superiores e inferiores de los diámetros registrados en el sitio más joven fueron de 0.9 cm. el inferior y de 5.5 cm. el superior en el rodal más joven, y de 48.5 cm. el límite inferior y de 51.40 cm. para el diámetro superior del rodal más maduro.

Las características de las copas que se observó para los árboles suprimidos fue de un 5 a 7%, para los intermedios fue de 10 a 15%, para los codominantes fue de un 15 a 25%, y para los dominantes de 30 a 60%.

De los resultados obtenidos, en el análisis final de los datos se tomarán dos criterios para la selección definitiva de los sitios, los cuales son:

i.- Se graficaron los sitios muestreados y sólo fueron considerados aquellos que siguieron la tendencia general de desarrollo de la relación  $D_c-AB$ , esto fue con el fin de eliminar aquellos sitios que no estuvieran completamente saturados.

ii.- Sólo se consideraron aquellos sitios que presentaron un mínimo de 5% de mortalidad asociada a la competencia.

En total se eliminaron 3 sitios bajo estos criterios (Fig. 4).

#### 4.5. - Análisis de Datos.

De cada parcela muestreada se estimó mediante las siguientes formulas:

El área basal total.

$$* ABt = 0.7854 \sum Di^2 \quad (1)$$

El área basal media.

$$* \bar{AB} = ABt/N \quad (2)$$

El diámetro cuadrático medio.

$$* \bar{D}_c = \sqrt{AB/0.7854} \quad (3)$$

El diámetro medio.

$$* \bar{D} = \sum Di/N \quad (4)$$

La tasa de incremento en área basal.

$$* TIR = \ln(AB1/AB0)/t \quad (5)$$

Donde:

$\bar{AB}$  = área basal media.

ABt = área basal total.

$\bar{D}$  = diámetro medio.

AB = área basal.

N = número de árboles.

$\bar{D}_c$  = diámetro cuadrático medio

AB1 = área basal inicial.

AB0 = área basal final.

t = tiempo.

Ln = Logaritmo natural.

Mediante los valores de las expresiones 1,2,3, y 4 se graficaron las siguientes relaciones.

- \* Distribución diamétrica.
- \* Línea de máxima saturación.
- \* Edad - altura dominante.
- \* Edad - número de árboles.
- \* Diámetro cuadrático medio - edad
- \* Tasa de incremento relativo - árboles dominantes.

Por último, para cada una de las anteriores relaciones se probaron modelos matemáticos con la finalidad de encontrar el modelo que mejor se ajustara para la evaluación de estas relaciones. En el análisis estadístico de los datos se usó regresión lineal, utilizando un programa de computo del cual se obtuvieron los siguientes estadísticos:

- \* Coeficiente de correlación ( $r$ ).
- \* Coeficiente de determinación ( $r^2$ )
- \* Coeficiente de regresión ( $b_1$ ).
- \* Significancia de estimación (prueba de F).
- \* Análisis de residuales.

## V. - RESULTADOS Y DISCUSION.

### 5.1. - Distribución Diamétrica.

De acuerdo a los resultados obtenidos de cada uno de los sitios muestreados se observaron distribuciones normales características de rodales coetaneos.

En el análisis de la distribución diamétrica se estimó el valor del sesgo en cada uno de los sitios. De los veintisiete sitios, veinticinco resultarán con sesgo positivo y dos con sesgo negativo (Fig. 5). El valor máximo estimado con sesgo positivo fue para el sitio 24 con un valor de 4.16; en este sitio se estimó una densidad de 3,240 árboles por hectárea de un diámetro cuadrático medio de 18.83 cm. el límite inferior del diámetro sobre este sitio fue de 8.5 cm. y el superior fue de 20.6 cm. El valor mínimo estimado de el sesgo fue en el sitio 29 con un valor de 0.41, en este sitio se estimó una densidad de 1,080 árboles por hectárea de un diámetro cuadrático medio de 24.68 cm. el diámetro inferior en este sitio fue de 19.63 cm. y el superior fue de 27.68 cm.

De acuerdo a los resultados obtenidos en la estimación del sesgo, se observó que los rodales con alta competencia intraespecífica siguen un patrón definido de desarrollo, caracterizado por una preponderancia de árboles de diámetros pequeños y solo unos cuantos árboles de diámetros grandes (Fig. 5a), estos últimos se desarrollan rápidamente ganando la competencia por el espacio de crecimiento, así como de los recursos minerales, siendo estos árboles los que ocasionan que el sesgo sea positivo.

Cabe señalar que se obtuvieron diferentes valores del sesgo para diámetros y sitios similares ( cuadro 2), una razón de ello puede ser a que se tienen diferentes grados de saturación en

los sitios muestreados, pero debido al limitado número de sitios para un mismo diámetro medio, no se realizó una prueba estadística para probar esta relación. Estos resultados concuerdan con el patrón descrito por Ford, (1975) para rodales coetáneos monoespecíficos y de acuerdo con Westoby (1982) como resultado de una tasa de crecimiento alta de los árboles de diámetro mayor.

Por otra parte, debido a que sobre el área de estudio no se localizaron rodales mayores a los 33 años de edad, no fue posible determinar el comportamiento de estos sitios cuando alcanzan la madurez (donde se espera que el sesgo se torne negativo según la literatura consultada).

#### 5.2.- Línea de Máxima Saturación.

El número de árboles por hectárea y el diámetro cuadrático medio por sitio, se utilizaron para encontrar la línea de máxima saturación de un rodal, utilizando el modelo desarrollado por Reineke (1933) citado por Daniel et al (1982) este modelo describe una línea curva, en la que indica el número máximo de árboles por unidad de superficie de cualquier diámetro promedio que puede tener un rodal. La ecuación que desarrolló Reineke para este fin es la siguiente:

-b1.

$$* NA = K Dc \quad (6)$$

A partir de esta ecuación es posible estimar el número máximo de árboles dado un  $Dc$  cualquiera. Esta ecuación se linealizó mediante logaritmos naturales, de tal manera que se obtuvo la siguiente ecuación:

$$* \ln NA = \ln K - b1 \ln Dc \quad (7)$$

Donde:

- Ln = logaritmo natural.
- NA = número de árboles.
- K = valor de la constante.
- b1 = pendiente de la línea.
- Dc = diámetro cuadrático medio.

Con los valores del diámetro cuadrático medio y el número de árboles por hectárea de cada sitio se estimaron los valores para los parámetros de la ecuación 7 por medio de regresión lineal, utilizando el método de mínimos cuadrados en donde se obtuvo:

- \* K = 12.001
- \* b1 = -1.569

De esta manera la ecuación sería:

$$* \text{Ln NA} = 12.001 - 1.569 \text{ Dc} \quad (8)$$

Por lo tanto:

$$* \text{NA} = 162917.6 \text{ Dc} \quad (9)$$

De manera que el Índice de Densidad del Rodal (IDR) sería:

$$* \text{IDR} = \text{NA} (25/\text{Dc}) \quad (10)$$

Donde el IDR es el índice de densidad del rodal con respecto a un diámetro de referencia, que en este caso es igual a 25 cm.

El análisis estadístico aplicado a este modelo reportó valores altos, en donde el valor de r2 fue de 0.81 y el de F fue de 97 lo que indica que este modelo tiene buen ajuste para la

predicción del número de árboles.

De acuerdo a diferentes estudios donde se involucra el cálculo del coeficiente "b1", (este parámetro indica, la tasa de cambio relativo del número de árboles con respecto a la tasa de cambio relativo del diámetro medio), se han reportado los siguientes valores:

Schimildtling (1987) para Pinus tadea L. sobre 10 parcelas en diferentes regiones de E. U. estimó el valor de "b1" en un rango de -1.47 a -1.87; DeBell y Whitesell (1988) en un estudio sobre Eucalyptus saligna Sm. reportan el valor estimado de b1 en -1.6, y desarrollan para el cálculo del número de árboles la siguiente ecuación:

$$-1.6$$

$$* NA = 162754.79 Dc \quad (11)$$

En Zoquiapan, México. Zepeda y Villarreal (1988) en la construcción de una guía de densidad para Pinus hartwegii Lindl. estimaron el valor de b1 en -1.66 de manera que obtuvieron la siguiente ecuación:

$$-1.66$$

$$* NA = 169414.22 Dc \quad (12)$$

Diversos estudios indican que el valor de b1 esta asociado a la tolerancia de la especie y a la productividad del sitio. Se espera que una especie presenta una pendiente mayor para sitios marginales (menos productivos). Se ha observado también que las especies tolerante presentan una pendiente menor. Una pendiente mayor indica una porcentaje mayor de mortalidad para un incremento en el diámetro promedio del rodal. La diferencia con Pinus hartwegii parece más el resultado de el habitat donde se hizo el estudio (presentan estaciones de crecimiento más cortas que en Manantlán donde se hizo este estudio), que a la diferencia en tolerancia de las especies. De manera que parece razonable el

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE AGUILERA

valor para el coeficiente  $b_1$  encontrado para la especie en el área de estudio.

La línea de máxima saturación estimada para la especie en estudio, se ubicó por arriba de los trabajos que se utilizaron como referencias bibliográficas lo que nos da un indicador más de la alta productividad del sitio.

Para ilustrar mejor la diferencia con los trabajos antes citados se calculó el número de árboles por hectárea a un diámetro de 25 cm; el resultado se comparó con los obtenidos de las ecuaciones 11 y 12 en donde se obtuvieron los siguientes valores:

\* Zepeda y Villarreal:

+ Diam: 25 cm.

+ NA: 809.78

\* DeBell y Whistlesell:

+ Diam: 25 cm.

+ NA: 943.69

\* En este trabajo:

+ Diam: 25 cm.

+ NA: 1074.43

Pinus oocarpa presenta para un diámetro de 25 cm. un 25 % y 13 % de árboles mayor respectivamente.

### 5.3.- Relación Edad-Altura Dominante.

De los parámetros útiles para caracterizar el desarrollo de la estructura de un rodal saturado o no, la altura de los árboles posee una importancia significativa, ya que además de ser usada como elemento en la construcción de guías de densidad, es el

parámetro de mayor uso para la estimación de la calidad del sitio de un rodal (índice de sitio).

Asumiendo que la altura está en función de la edad se utilizaron tres modelos para evaluar esta relación:

$$* \text{ Modelo 1: } \quad H = b_1 E \quad (13)$$

$$* \text{ Modelo 2: } \quad H = K + b_1 E \quad (14)$$

$$* \text{ Modelo 3: Schumacher } \quad H = K e^{b_1 (1/E)} \quad (15)$$

$$\text{Modelo 3: linearizado} \quad \ln H = \ln K + b_1 1/E \quad (16)$$

Donde:

H = altura.

E = edad.

b<sub>1</sub> = pendiente de la línea.

K = constante.

Ln = logaritmo natural.

El modelo 1 fue el que presentó mayor coeficiente de determinación con un valor de 0.95 y mayor valor de F 481 (P<.001) (Cuadro 3). Sin embargo, el comportamiento de los residuales en este modelo tiende a subestimar ligeramente la altura en edades menores a los 20 años (Fig 7).

En los resultados obtenidos para el modelo 2 se observó que presentó mejor distribución de los residuales teniendo un comportamiento más aleatorio alrededor de los valores predichos para el rango de los valores de la variable independiente (Fig. 6). En el análisis estadístico el valor de r<sup>2</sup> fue de 0.713 el cual es el valor medio de los tres modelos evaluados; siendo el valor de F de 54 (Cuadro 3).

El modelo 3 a pesar de que se observó que tiene mejor sentido biológico debido a su tendencia curvilínea, fue el que presentó menor valor de  $r^2$  0.62 y de F 36. El comportamiento de los residuales fue mejor respecto a dos anteriores modelos, ya que se observó menor sesgo de subestimación o sobrestimación. (Fig. 8).

Este modelo probablemente tiene mejor ajuste de los residuales, debido a que las edades observadas fueron únicamente hasta los 33 años, lo que impide que las categorías diamétricas puedan expresar la función curvilínea del aumento en altura y por lo tanto un mejor ajuste.

Por lo tanto, en base a las anteriores características y de manera preliminar se recomienda el modelo I hasta no ampliar la base de datos. Se escogió este modelo ya que presentó menor sesgo en las estimaciones en el rango de los valores de la edad y alturas observadas y mayor coeficiente de determinación (0.95).

En la relación altura de los árboles dominantes - edad, se observó que en la mayoría de los sitios, la variación de la altura para árboles de una misma edad, fue aproximadamente de 5 a 10 mt. (Fig. 9) lo que supone que dentro del área de estudio existen por lo menos dos calidades de estación. Este aspecto reviste gran importancia debido a que como lo menciona Arteaga (1985) en el contexto del manejo forestal de la calidad de estación depende en parte la capacidad producción potencial de un rodal para una especie en particular.

#### 5.4.- Relación Edad-Número de Árboles.

Un aspecto importante de la estructura de un rodal es la relación que existe entre el número de árboles y la edad, debido a que al graficar a la edad como variable independiente y al número de árboles como variable dependiente, es posible

determinar la tendencia estructural de un rodal, tomando como referencia la forma que adopta la línea resultante entre estas dos variables.

En la evaluación de la relación número de árboles-edad se utilizó un modelo exponencial negativo:

$$* NA = Ke^{-b_1 E} \quad (17)$$

Después se transformó a un modelo lineal logarítmico de la siguiente forma:

$$* \ln NA = \ln K - b_1 E \quad (18)$$

Donde:

$\ln$  = logaritmo natural.

NA = número de árboles.

K = el valor de la constante (9.755).

$b_1$  = el valor de la pendiente (-0.095).

En los resultados obtenidos según se observó en la distribución de los residuales este modelo tuvo buen comportamiento, distribuyéndose en forma más o menos aleatoria entre el valor observado y el valor estimado, esta característica se manifestó hasta el rango de 20 años de edad, subestimando los valores a partir de los 25 años (Fig. 10).

En el análisis estadístico aplicado a este modelo, se obtuvo un valor de  $r^2$  de 0.65 y una significancia en la prueba de F igual a 44 (Cuadro 3). Aunque el coeficiente de determinación no es muy alto (0.65) este modelo puede ser considerado de forma preliminar para la evaluación de la relación entre el número de árboles-edad, debido a que la línea que describe el desarrollo entre estas dos variables presentó un comportamiento similar al

observado en otros estudios similares como los realizados por Islas (1987); y Balogh y Grigal (1988).

En los resultados obtenidos de la relación número de árboles-edad por medio de la ecuación 18, se obtuvo una línea curva la cual fue similar a la obtenida por Balogh y Grigal op. cit. mediante el modelo matemático tipo III de Deevey en la que se observa el comportamiento seguido entre estas dos variables (Fig. 11). Cabe mencionar que el modelo tipo III junto con el modelo tipo II de Deevey (Fig. 12), han sido utilizados para cuantificar niveles de saturación en poblaciones arbóreas.

Es importante notar que los mayores porcentajes de mortalidad se presentan entre los 10 a 20 años de acuerdo al modelo ajustado. Esto es importante señalarlo para efectos del manejo de la densidad, porque nos indica que son estas edades las más apropiadas para hacer los aclareos y aprovechar al máximo los beneficios que se derivan al distribuir mejor el crecimiento del rodal.

#### 5.5.- Relación Diámetro Cuadrático-Edad.

Una de las variables importantes en la caracterización de la estructura de un rodal, es sin duda la edad del mismo, ya que está fuertemente correlacionada a otros parámetros útiles en el manejo forestal como lo es el diámetro cuadrático, de tal manera que con ambos parámetros es posible ubicar un rodal en una etapa de desarrollo dentro de un turno seleccionado.

En la evaluación de la relación diámetro cuadrático-edad se probaron 3 modelos, los cuales son:

$$* \text{ modelo 1 } Dc = K + b1 E \quad (19)$$

$$* \text{ modelo 2 } Dc = b1 E \quad (20)$$

$$* \text{ modelo 3 } LnDc = LnK + b1 E \quad (21)$$

Donde:

Dc = diámetro cuadrático medio.

K = constante.

E = edad media del rodal.

Ln = logaritmo natural.

Los tres modelos evaluados presentaron buen comportamiento de los residuales, distribuyéndose en forma homogénea la variable dependiente (Dc) entre la variable independiente (edad). En los tres modelos las gráficas mostraron que las varianzas de los residuales fueron uniformes con respecto a la variable independiente (Figs. 13, 14, 15).

En el análisis estadístico aplicado al modelo 1 el valor de  $r^2$  fue de 0.719 y el valor de F fue de 56.2. En el modelo 2 se obtuvo un valor de  $r^2$  igual a 0.947 y la prueba de F fue de 366.6. Para el modelo 3 en el análisis estadístico se obtuvo un valor de  $r^2$  de 0.712 siendo el valor de F 54.4 (Cuadro 3).

En general los tres modelos evaluados demostraron que existe fuerte relación entre el diámetro cuadrático y la edad (Fig. 16), según se observó en los valores obtenidos en el análisis estadístico aplicado a cada uno de los modelos; probablemente los altos valores del coeficiente de correlación entre las dos variables es debido a la saturación temprana de todos los rodales, ya que generalmente ésta relación no es muy alta.

A pesar de que los tres modelos no presentaron mucha diferencia en la distribución de los residuales, se recomienda para la evaluación de la relación entre el diámetro cuadrático-edad, el modelo 2 debido a que fue el que presentó mayor valor de  $r^2$  (0.941) y de F (366.6).

### 5.6.- Relación Tasa de Incremento Relativo-Arboles Dominantes.

Los árboles de una masa presentan diferentes ritmos de crecimiento; muchos son eliminados a través de la selección natural o artificial, teniendo como consecuencia que el desarrollo e incremento de una masa es diferente al desarrollo e incremento de un árbol. Klepac, (1976).

La tasa de incremento relativo se define en este trabajo, como el crecimiento en volumen que alcanza cada árbol dentro de un rodal desde su nacimiento hasta su muerte, de acuerdo al estado de desarrollo en que se encuentre. Tomando en cuenta que el crecimiento en volumen aumenta paralelamente con el diámetro y la altura se probó un modelo para determinar el comportamiento de la relación tasa de incremento relativo-árboles dominantes. El modelo probado para este fin es el siguiente:

$$-b_1 D$$

$$* I_m = K e$$

Del cual se obtuvo el siguiente:

$$* \ln I = \ln K - b_1 D$$

Donde:

$\ln$  = logaritmo natural.

$I$  = incremento estimado en cada sitio muestreado.

$D$  = diámetro medio del rodal.

$K$  = constante.

En los resultados obtenidos a través del análisis de los residuales se observó que este modelo tiene buen ajuste, ya que las gráficas mostraron que las varianzas se distribuyen en forma aleatoria, es decir, se observó una distribución homogénea entre

el valor observado y el valor estimado (Fig. 17).

En el análisis de varianza aplicado a este modelo se obtuvo un coeficiente de determinación ( $r^2$ ) de 0.546 altamente significativo;  $\ln K = -2.035$ ;  $b_1 = 0.056$ , (Cuadro 3). Como puede observarse los valores estimados para  $r^2$  y  $F$  no son muy altos, aunque debe insistirse como lo menciona Murray, (1987) el valor de  $r^2$  mide en cualquier caso el grado de relación relativa, de tal manera que el valor bajo de  $r^2$  en este modelo puede deberse a otros factores no tomados en cuenta para estimar el incremento relativo de los árboles dominantes (p. ej. longitud de copa, edad etc.). Sin embargo estos valores se consideran aceptables debido a que generalmente estas correlaciones son bajas.

## VI.- CONCLUSIONES.

- 1.- Pinus oocarpa Schiede en la Estación Científica las Joyas se encuentra en rodales jóvenes muy densos, en un rango de edades que va de los 6 a los 33 años de edad, este rango no es continuo, ya que algunas edades intermedias no se encuentran en el área de estudio.
- 2.- De los 27 sitios muestreados, 25 resultaron con sesgo positivo, y 2 con sesgo negativo. En los sitios que presentaron sesgo positivo, se observa una preponderancia de árboles de diámetros pequeños y sólo unos cuantos árboles de diámetros grandes. Por lo tanto se comprobó que siguen el patrón general de desarrollo, reportado para los rodales con alta competencia intraespecífica a edades tempranas.
- 3.- En los sitios donde crece Pinus oocarpa existe buena capacidad productiva, ya que se estimó un alto valor en número de árboles por hectárea para un mismo diámetro medio en comparación con otros estudios similares.
- 4.- Para la línea que representa la máxima saturación del rodal para cualquier diámetro medio de un rodal ( $b_1$ ), se estimó un valor de  $b_1 = -1.569$ . y de  $\ln K = 12.001$
- 5.- Mediante el modelo número 18, utilizado para la evaluación de la relación edad-número de árboles, se obtuvo una línea curva semejante a la línea tipo III de Deevey, en la que se observa el patrón de sobrevivencia de Pinus oocarpa, esta línea decrece conforme aumenta la edad del rodal. Esta curva nos indica que entre los 10 y 20 año de edad se presentan las mejores oportunidades de aplicar los primeros aclareos.
- 6.- Se plantea la hipótesis de que en el área de estudio existen por lo menos dos calidades de estación, como lo demuestran

la marcada diferencia en altura para una misma edad.

- 7.- El diámetro presenta una estrecha relación con el incremento relativo de los árboles dominantes en rodales con alta competencia intraespecífica.

## VII.- RECOMENDACIONES.

- 1.- Establecer más sitios permanentes en diferentes etapas de desarrollo para evaluar el comportamiento de estos en forma periódica.
- 2.- Si se desea conocer el nivel de densidad del cual se pueden obtener los mejores rendimientos desde un punto de vista productivo, es necesario el establecimiento de parcelas experimentales para el manejo de la densidad y determinar la respuesta en crecimiento de esta especie bajo diferentes niveles de competencia, por lo que se recomienda iniciar su establecimiento.
- 3.- Se recomienda implementar un estudio para estimar índices de sitio mediante análisis troncales.
- 4.- Para determinar de forma más confiable la trayectoria de la línea de máxima saturación, es necesario ampliar la base de datos y continuar con el monitoreo de los sitios ya establecidos de manera de tener un panorama de la dinámica de estos sitios.
- 5.- Elaborar tablas de volúmenes para esta especie, incluyendo diámetros menores a 2.5 cm.

## VIII.- BIBLIOGRAFIA.

- Anaya, C.M. 1989. El fuego en la regeneración natural del bosque de Pinus-Quercus en la Sierra de Manantlán, Jalisco. tesis de licenciatura. Facultad de Agronomía. U. de G. 76 p.
- Arteaga, M.B. 1985. Índice de sitio para Pinus patula Schi et Cham., en la región de Chignahuapan-Zacatlan, Puebla. tesis Maestría. Colegio de Posgraduados. Programa Forestal. Chapingo, México. 181 p.
- Balogh, D.C. and Grigal, D.F. 1988. Tall shrub dynamics in northern Minnesota aspen and conifer forests. Res. Pap. NC-283 St. Paul, MN U.S. Department of Agriculture, Forest Service, North Central Forest Experiment Station 15 p.
- Benjamin, L.R. and R.C. Hardwick. 1986. Sources of variation and measures of variability in even-aged stands of plants. Ann. Bot. (London). 58: 757-778.
- Brand, D.S. and Magnussen, S. 1988. Asymmetric two sided competition in even-aged monocultures of pine. Can. J. For. Res. 18:901-910.
- Buchman, R.G., S.P. Pederson, and N.R. Walters. 1983. A tree survival model with application to species of the Great Lakes Region. Can. J. For. Res. 13: 601-608.
- Buchman, R.G. 1985. Mortality assesment: What are the essential? In: Proceedings Growth and yield and other mensurational tricks. A regional technical conference. Logan, Utha. Nov. 6-7. 1984. USDA Forest Service. Gen. Tech. Rep. INT-193. pp. 21-24.

- Buchman, R.G. and J.W. Benzie. 1987. Relative growth rate: An analytical tool for growth and yield analysis. In: Forest Growth Modelling and Prediction. Volume 2. USDA For. Serv. General technical Report. NC-120. pp. 588-595.
- Daniel, P.W., J.A. Helms y F.S. Baker. 1982. Principios de silvicultura. Ed. Mc. Grae Hill. Mexico. 492. p.
- DeBell, M.L. and C.D. Whitesell. 1988. Diameter-density relationships provide tentative spacing guidelines for Eucalyptus saligna in Hawaii. Res. Note PSW-397. Berkeley, CA. Pacific Southwest Forest and Range Experiment Station, Forest Service, U.S. Department of Agriculture; 3 p.
- Drew, T.J. and J.W. Flewelling. 1977. Some recent japanese theories of yield-density relationships and their application to monterey pine plantations. For. Sci. 23(4): 517-534.
- . 1979. Stand density management: an alternative approach an its application to Douglas-fir plantations. For. Sci. 25(3): 518-532.
- Eguiluz, P.T. 1985. Descripción botánica de los pinos mexicanos. División de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma de Chapingo. Chapingo México. 27-28 pp.
- Franklin, J.F. H.H. Shugart and M.E. Harman. 1987. Tree death as a ecological process: The causes, consequences, and variability of tree mortality. BioScience., 37:550-556.
- Gallegos, R.A. 1988. Estudio preliminar para determinar la densidad de plantación metodo de Nelder con Pinus michoacana var. cornuta Mtz. en el bosque-escuela. Tesis de licenciatura. Facultad de Agronomía. U de G. 50 p.

- Guzman, M.R. 1985. Reserva de la Biosfera de la Sierra de Manantlan, Jalisco. *Tiempos de Ciencia*, Uni. de Guad. Mex. 1: 10-26.
- Harold, W. y Hocker, Jr. 1984. *Introducción a la biología Forestal*. Ed. AET. Mexico. 492 p.
- Harper, J.L. 1977. *Population biology of plants*. London: Academic Press; 892 p.
- Hibbs, D.E. 1987. The self-thinning rule and red alder management *For. Ecol. Manage.*, 18(1987): 273-281.
- Hush, B.; C.I. Miller and T.W. Beers. 1982. *Forest mensuration*. 3 th. eds. John Wiley. and Sons. 402 p.
- Islas, G.F. 1987. Un modelo de regeneración y mortalidad para Pinus arizonica Engelm. Tesis Maestría. Colegio de Posgraduados. Programa Forestal. Chapingo México. 82 p.
- Klepac, D. 1976. *Crecimiento e incremento de árboles y masas forestales*. Universidad Autónoma de Chapingo, Departamento de Enseñanza, Investigación y Servicio en Bosques. Chapingo, México. 365 p.
- LABORATORIO NATURAL LAS JOYAS. 1987. Plan operativo 1987. Reserva de la Biosfera de la Sierra de Manantlan, Guad. Mex. 219 p.
- Leary, R.A. and D. Standfield. 1986. Staking guides made dynamic. *Nort. J. Appl. For.* 3:139-142.
- Long, J.N. 1988. Density management diagrams: Their construction and use in timber stand management. In: *Proceedings Future Forests of the Mountain West: A Stand Culture Symposium* USDA For. Serv. General Technical Report INT-243 80-86 pp.

- McCarter, J.B. and J.N. Long 1986. A lodgepole pine density management diagram. West. J. Appl. For. 1:6-11.
- Murray, R.S. 1987. Estadística. Teoría y 875 problemas resueltos. Serie Schaum. Ed. Mc Graw Hill 357 p.
- Newton, P.F. 1987. Development of stand density management model for pure black forest types within Central Newfoundland. I. Applicability of self-thinning rule. In: Forest Growth Modelling and Prediction. Volume 2. USDA For. Serv. General Technical Report. NC-120. pp. 604-610.
- Perry, D.A. 1985. The competition process in forest stand. In: Attributes of trees as crop plants. M.G.R. Cannell and J.E. Jackson. (eds.) Institute of Terrestrial Ecology, Abbots Ripton, Hunts, Englade. pp. 481-506.
- Puri, C.R. N.S. Loftus Jr.; R.O. Fitzgerald. stocking. Tools forest management. In: Proceedings Future Forests of the Mountain West: A Stand Culture Symposium USDA For. Serv. General Technical Report INT-243 pp. 87-92.
- Radosevich, S.R. 1987. Methods to study intractions among crops and weeds. Weed Technology. 1: 190-198.
- Radosevich, S.R. and K. Osteryoung. 1987. Principles governing plant-environment interactions. In: Forest Vegetation Management for Conifer Production. Edited by John D. Walstad and Peter J. Kuch. pp. 105-156.
- Reukema, D.L. and D. Bruce. 1977. Effects of thinning on yield of Douglas-fir: Concepts and some estimates obtained by simulation. USDA For. Serv. General Technical Report. PNW-58 36 p.

- Roush, M.L. and S.R. Radosevich. 1985. Relationships between growth and competitiveness of four annual weeds. *Journal of Applied Ecology*. 22: 985-905.
- Schildtling, R.C. 1987. Racial variation in self-thinning trajectories in loblolly pine. In: *Forest Growth Modelling and Prediction*. Volume 2. USDA For. Serv. General Technical Report. NC-120. pp. 611-618.
- Shugart, H.H. 1984. A theory of forest dynamics. The ecological implications of forest succession models. Spinger-Verlay eds. New York. 578 p.
- Solomon, D.S. 1977. The influence of stand density and structure on growth of northern hardwoods in New Englade. USDA For. Serv. Research Paper NE-362. 13 p.
- Solomon, D.S. and W.B. Leak. 1986. Simulated yields for managed northern hardwood stand. USDA For. Serv. Research Paper. NE-578 24 p.
- Spurr, S.H. y B.V. Barnes. 1982. *Ecologia Forestal*. Ed. AGT. Mexico. 690 p.
- Stout, S.L. and B.C. Larson. 1988 Relative stand density: Why do we to know? In: *Proceedings Future Forests of the Moutain West: A Stand Culture Symposium* USDA For. Serv. General Technical Report INT-243 pp. 73-79.
- Waring, R.H. 1987. Characteristics of trees predisposed to die. Stress cause distinctive changes in photosynthate allocation. *BioScience* 37: 569-574.
- Welden, Ch.W. and W.L. Slauson. 1986. The intensity of competition versus its importance: An overlooked

distinction and some implications. The quarterly review of biology. 61(1): 23-44.

Zeide, B. 1985. Tolerance and self-thinning of trees. For. Ecol. Manage. 13:149-166.

Zeide, B. 1987. Analysis of the 3/2 power law of self-thinning. Forest Science. 33: 517-537.

Zeide, B. 1988. Search for a limiting density. In: Forest Growth Modelling and Prediction. Volume 2. USDA For. Serv. General Technical Report. NC-120. pp. 652-659.

Zeide, B. Self-thinning and stand density. (sin publicar).

Zepeda B., E.M. y M.E. Villarreal D. 1987. Guía de densidad para Pinus hartwegii Lindl. en la región de Zoquiapan, México. División de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma de Chapingo 52 p.

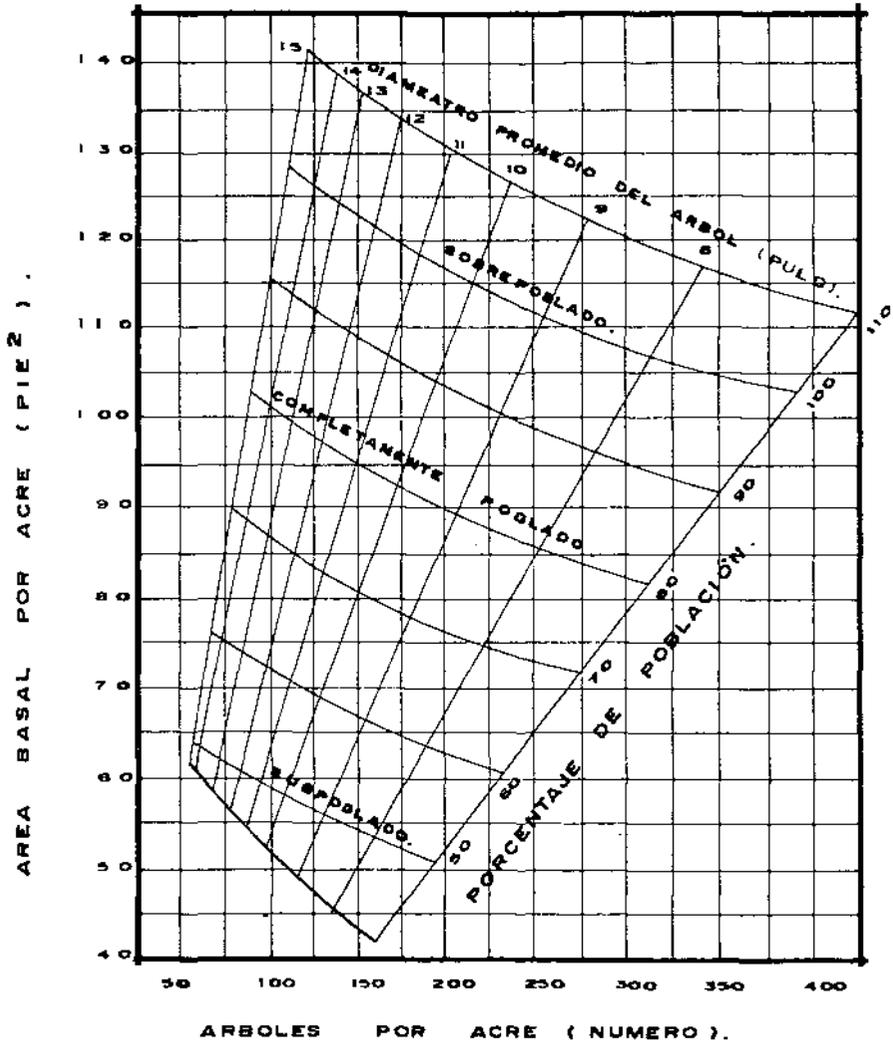


FIG. 1. GUIA DE DENSIDAD PARA ENCINO COMO FUE PRESENTADO POR PRIMERA VEZ POR GINGRICH. (USDA FOR. SER. 1962.)

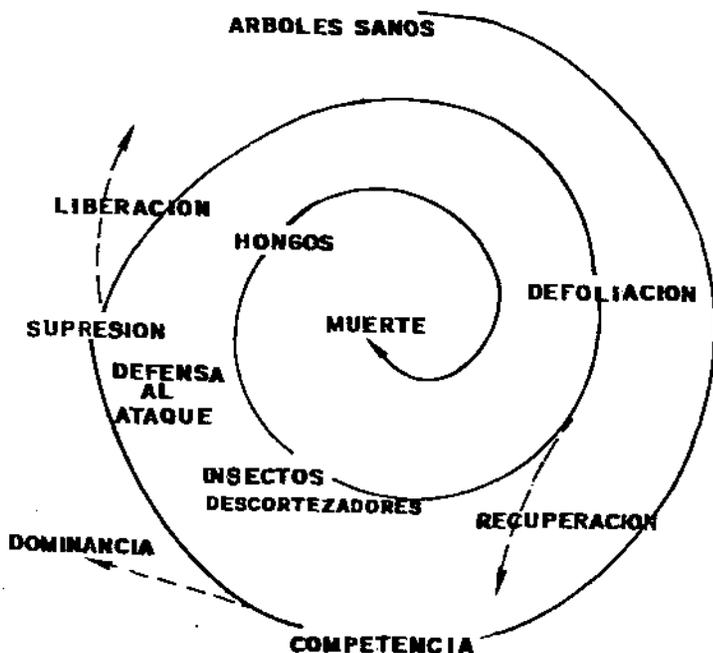


Fig. 2 La espiral de mortalidad ilustra la serie de los principales eventos de muerte de un árbol. Esta espiral está basada sobre la espiral de enfermedad de Mainon. (1981); en este ejemplo un árbol sano es suprimido por los individuos grandes. Si no es liberado de la competencia, el árbol es predispuesto al ataque de insectos. Una vez que el ataque ha comenzado, el debilitamiento del árbol facilita el ataque de otros insectos (Wickman, 1978), los cuales permiten el ataque de hongos (Berryman, 1982). Los hongos bloquean la transpiración de las hojas. Conforme el árbol progresa a través de ésta espiral, aumenta la probabilidad de muerte.

(Tomado de Franklin, J.F. y col. 1987)

LOCALIZACION GEOGRAFICA .

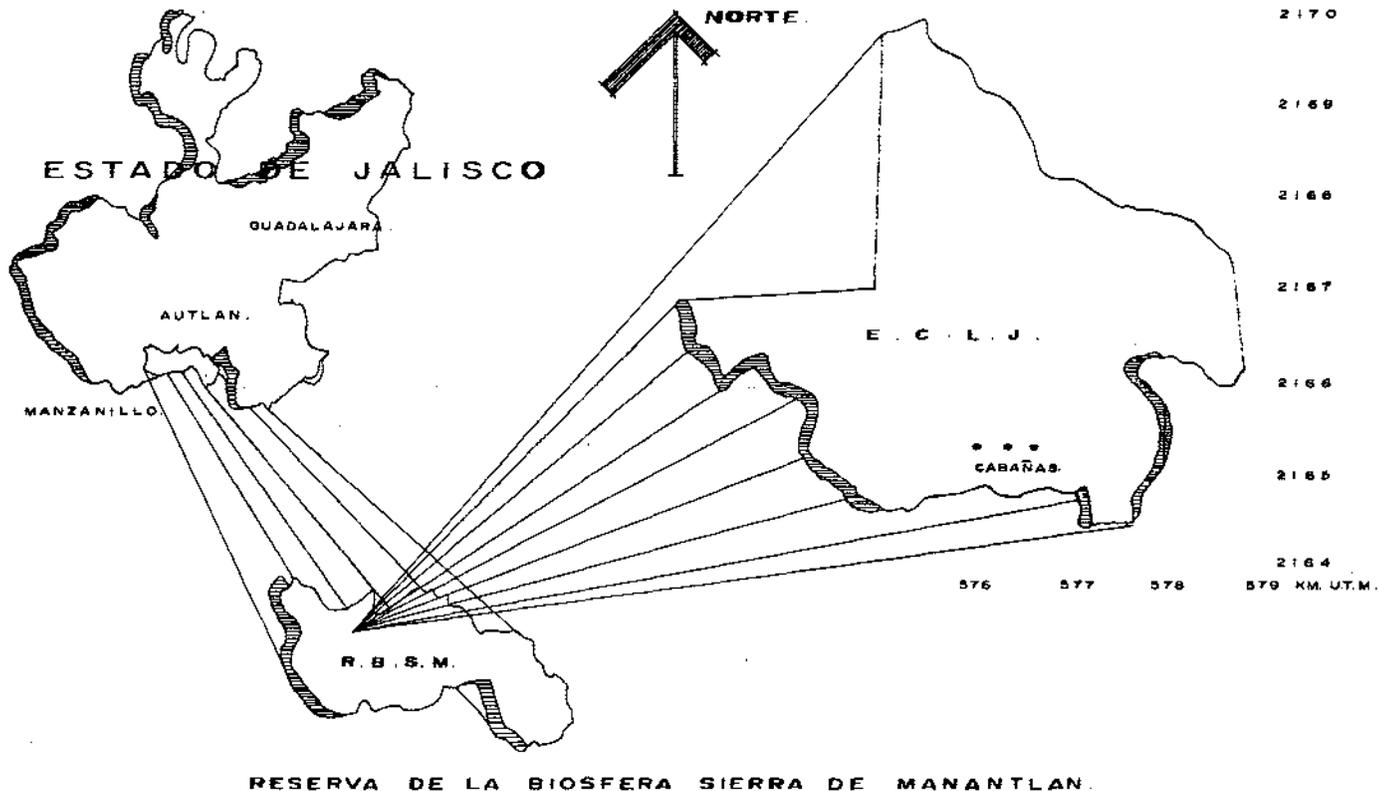
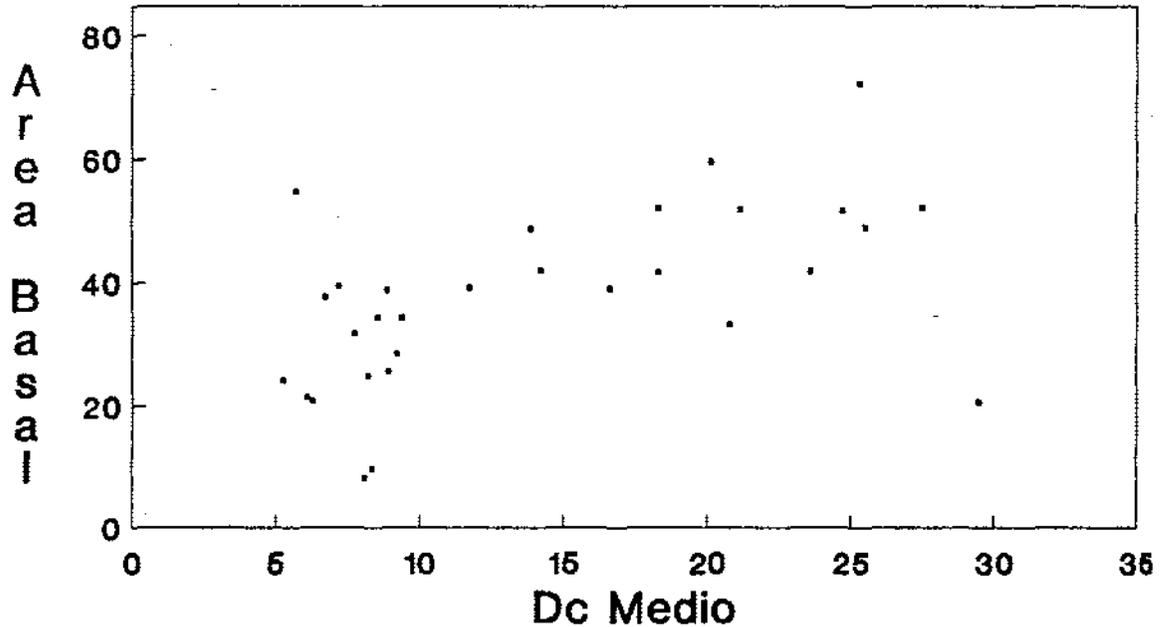


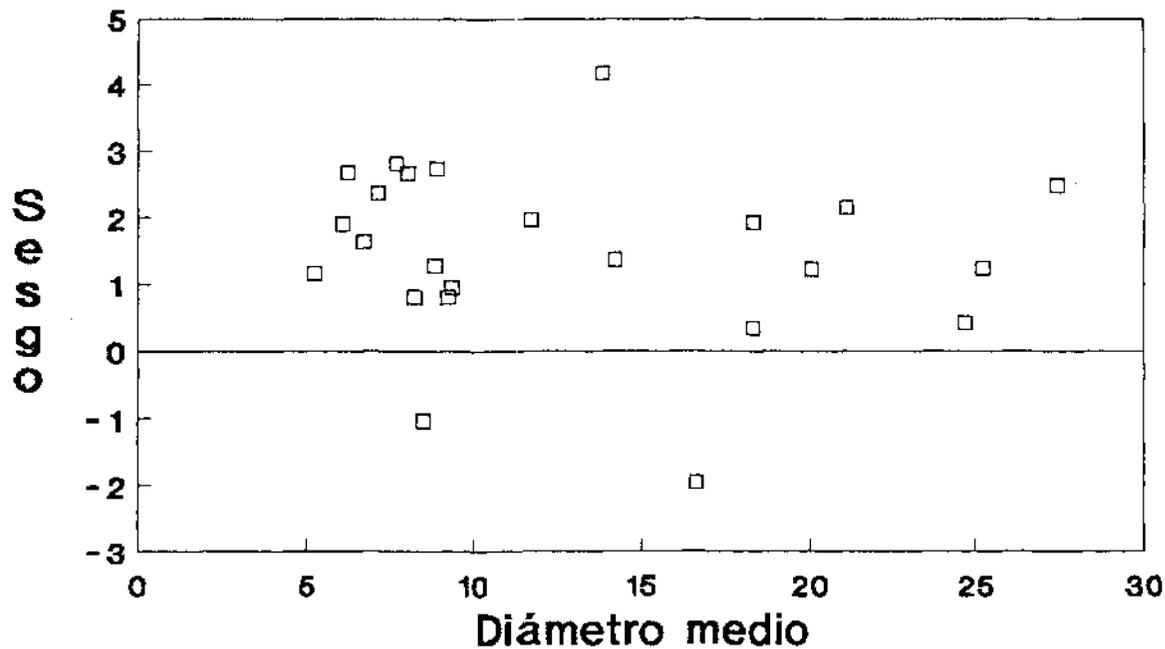
FIGURA N° 3.

LOCALIZACION DE LA ESTACION CIENTIFICA LAS JOYAS DE LA SIERRA DE MANANTLAN .

# AREA BASAL \* DC

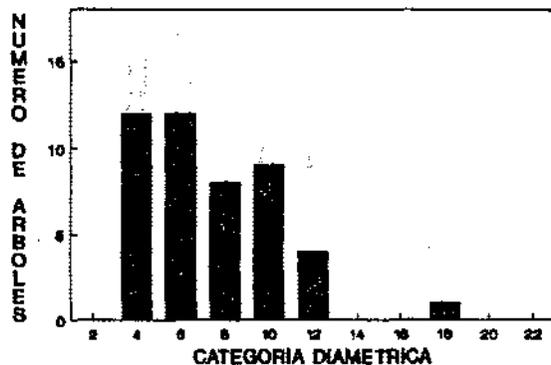


**Fig. 4** Relación Dc-AB en donde se observa la tendencia que siguieron cada uno de los sitios muestreados.

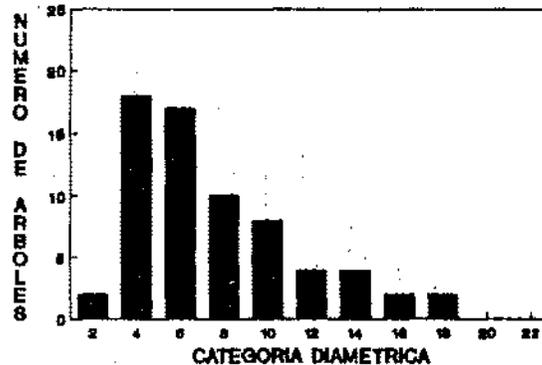


**Fig. 5** valor obtenido del sesgo para cada sitio obtenido a partir del diámetro cudrático medio

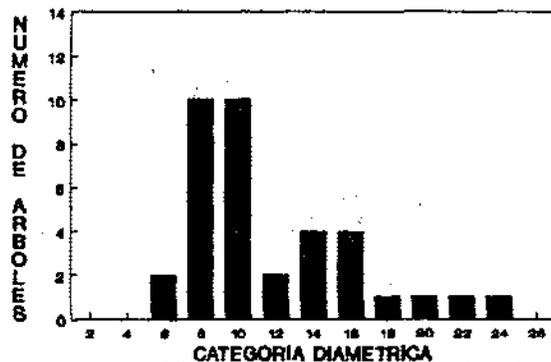
DIAMETRO MEDIO = 6.4



DIAMETRO MEDIO = 6.6



DIAMETRO MEDIO = 10.84



DIAMETRO MEDIO = 17.6

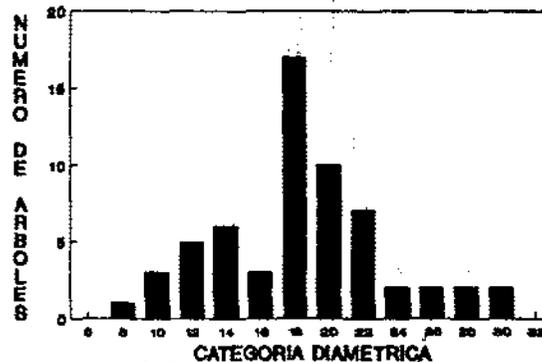


Fig. 5a Ejemplo de la distribución diamétrica de algunos sitios.

### Modelo Altura = $B_0 + B_1$ Edad

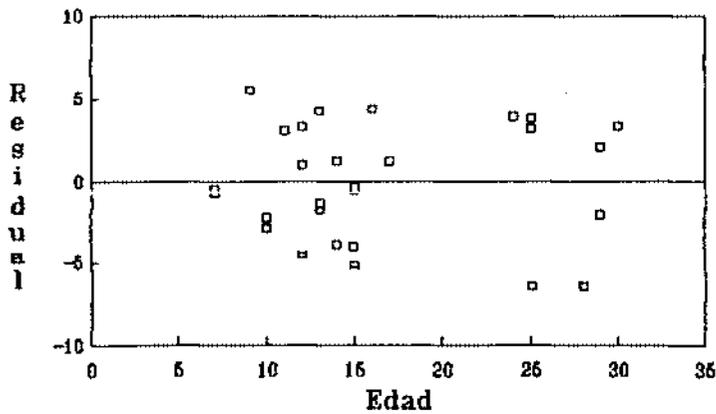
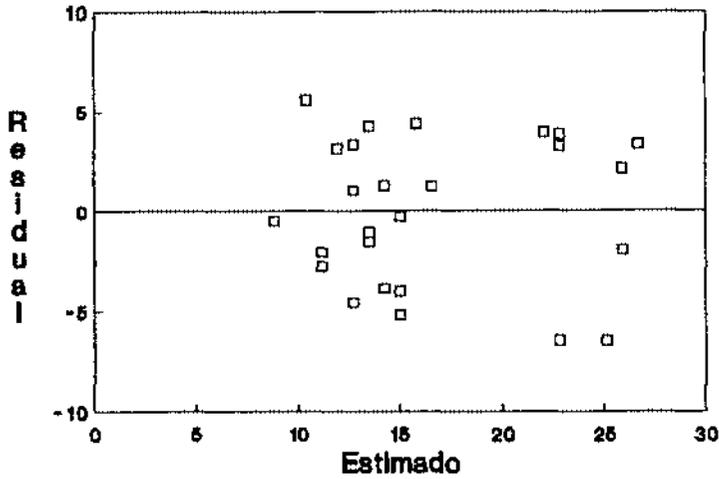


Fig. 6 Distribucion de los residuales del modelo 2 para la relacion edad - altura dominante

### Modelo $H = B1 \text{ Edad}$

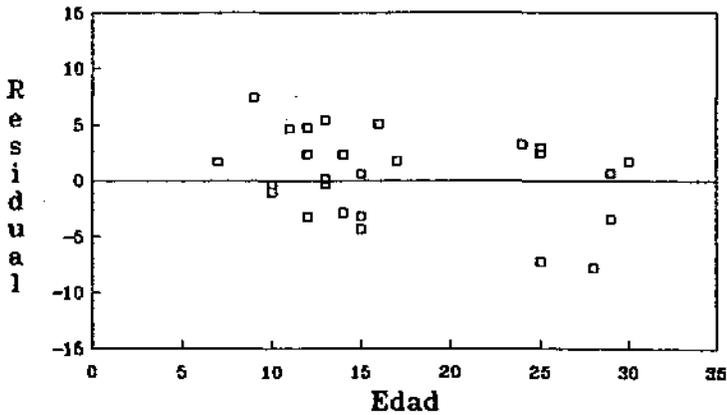
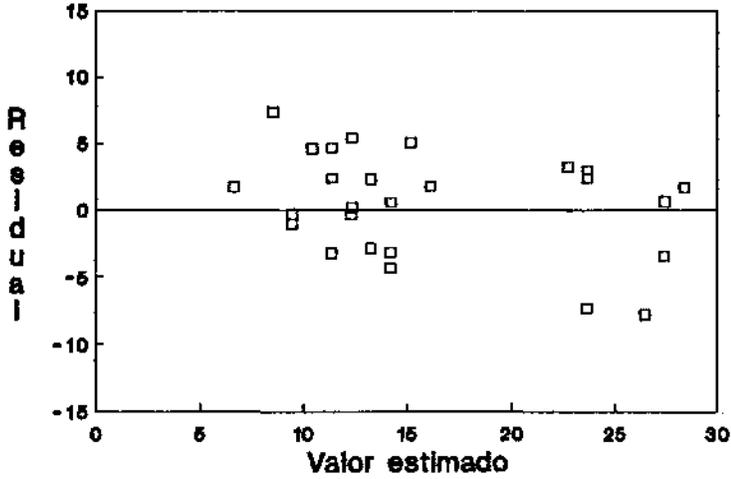


Fig. 7 Distribucion de residuales del modelo 1 para la relacion edad - altura dominante

$$\text{Ln Altura} = \text{Ln Bo} + B1 \text{ 1/Edad}$$

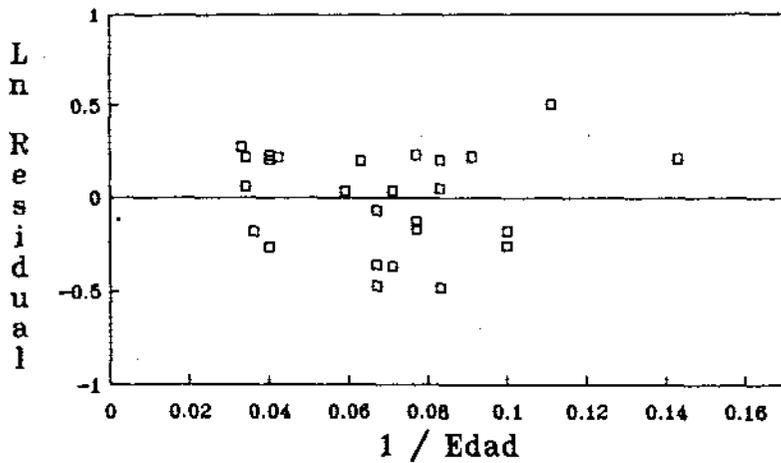
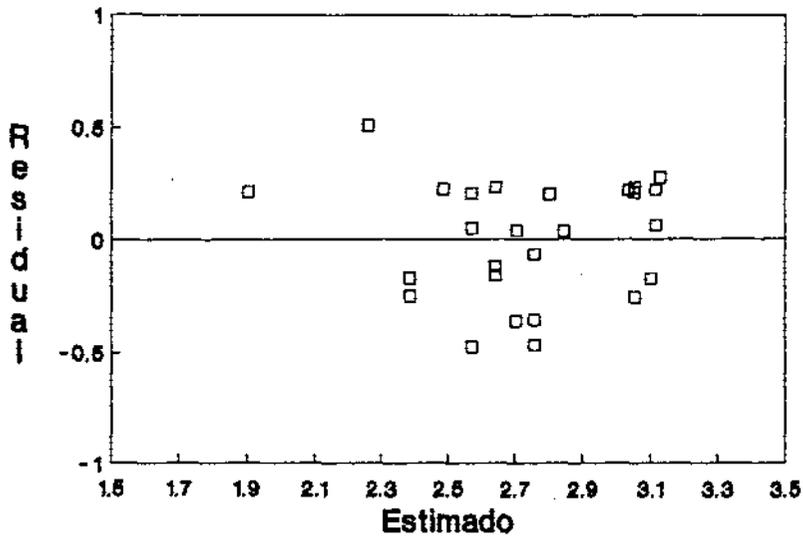


Fig. 8 Distribución de los residuales del modelo 3 en la relación edad - altura dominante

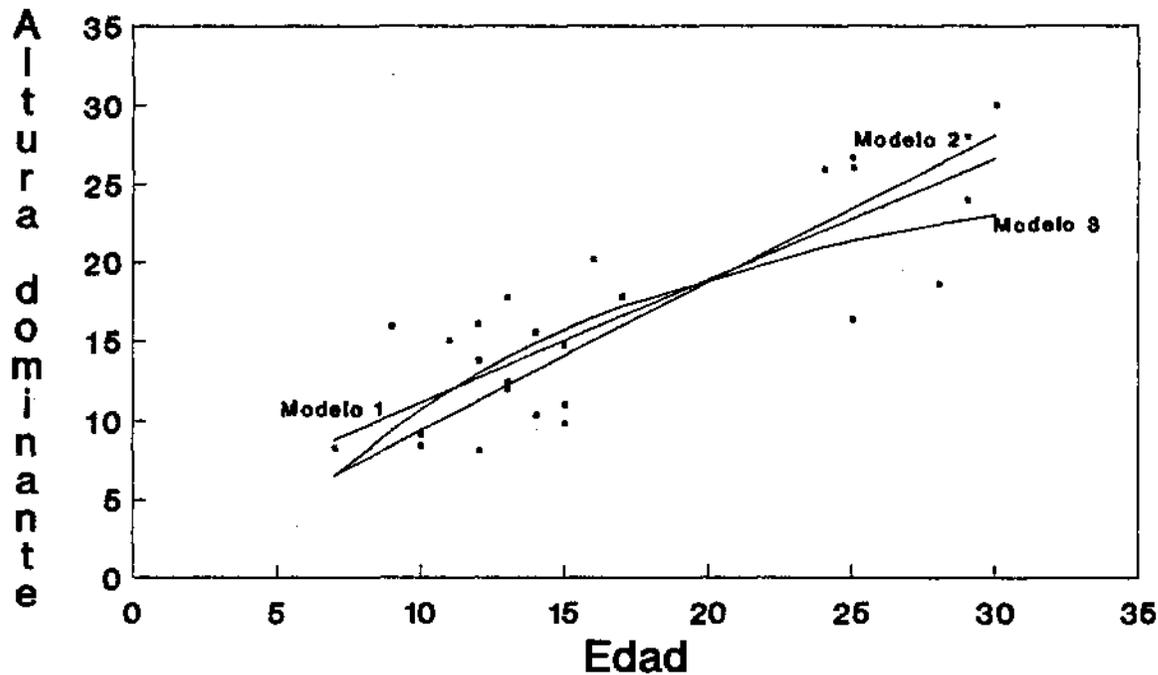


Fig. 9 Modelos ajustados para la la relación edad - altura dominante

$$\ln NA = \ln K - B_1 E$$

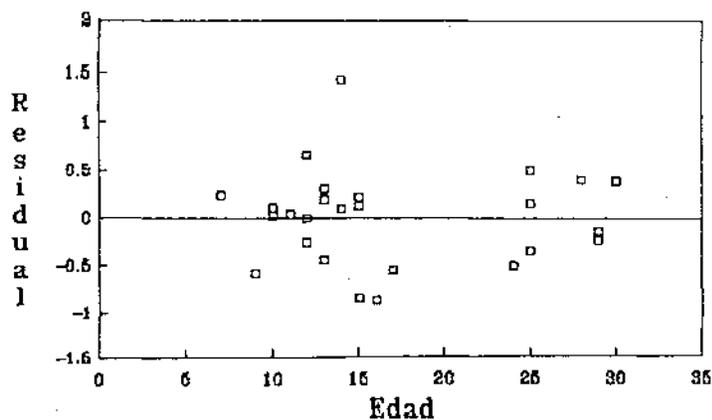
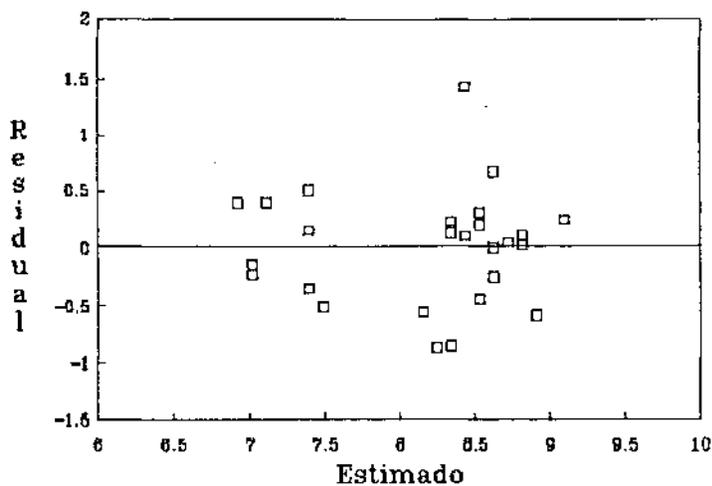
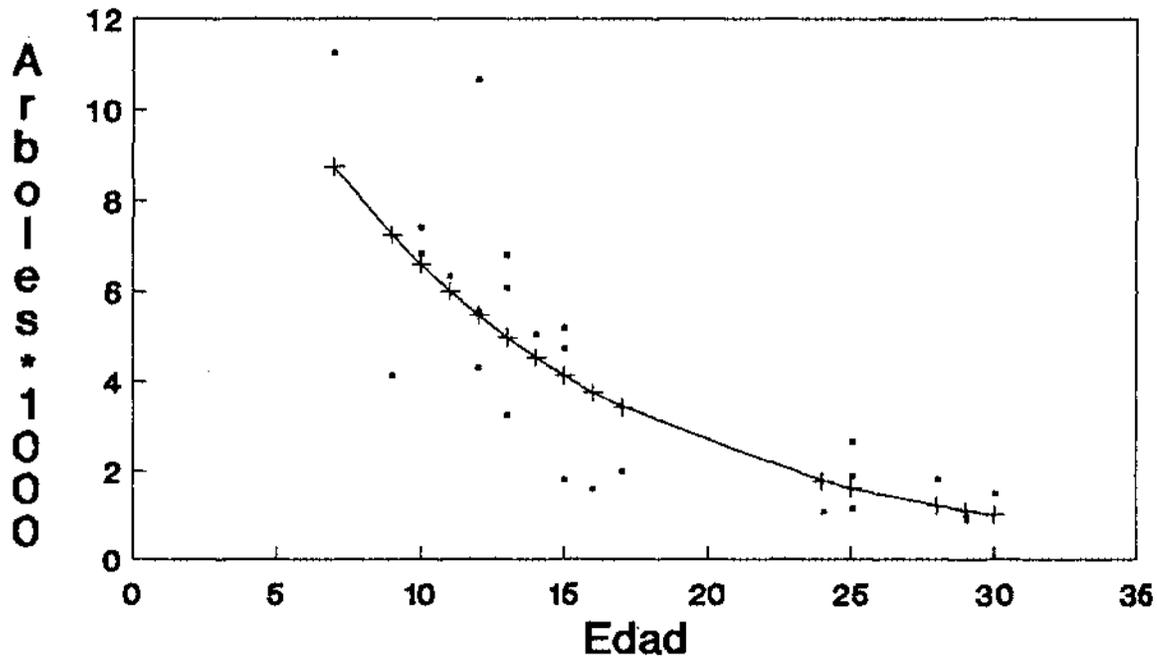


Fig. 10 Distribución de los residuales del modelo 18 para la relación número de árboles - edad.



**Fig. 11** Curva estimada de sobrevivencia obtenida a partir de la relación número de árboles - edad.

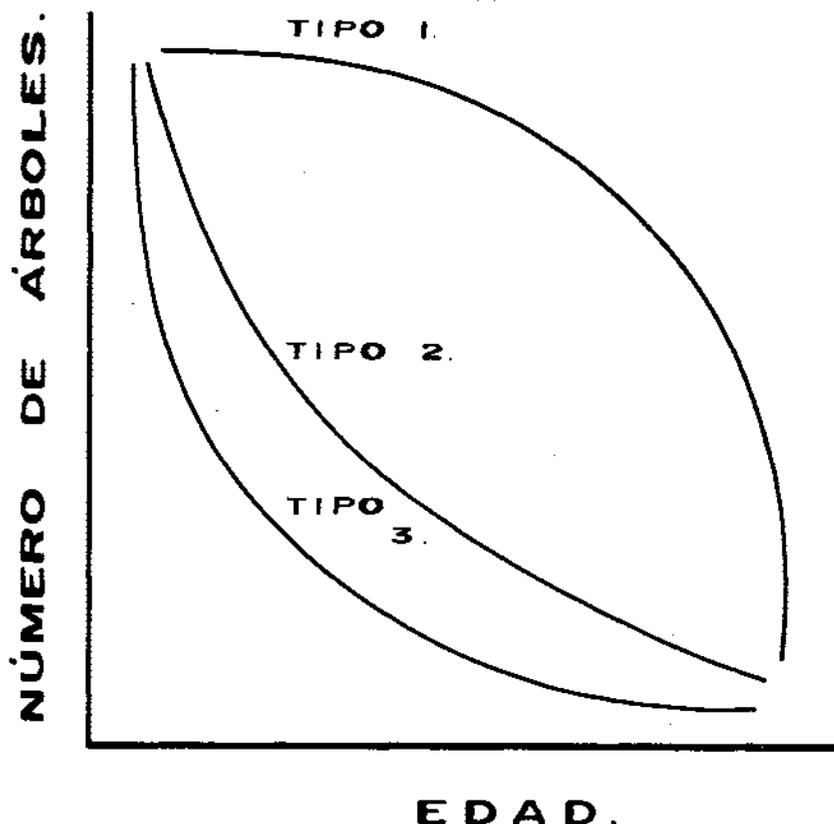


Fig. 12 Modelos desarrollados por Deevey (1947) en los cuales se representa esquemáticamente las distribuciones edad-número de árboles (densidad). El modelo tipo 1 o modelo de distribución rectangular con sesgo negativo rara vez se presenta en poblaciones de plantas perenes. Las plantas herbáceas frecuentemente exhiben el modelo tipo 2, o modelo de distribución exponencial negativo, con una inclinación constante para todas las edades. Las especies arbóreas presentan generalmente el modelo tipo 3 en el cual se presenta una inclinación inicial que decrece con el tiempo.

$$Dc = B_0 + B_1 \text{ Edad}$$

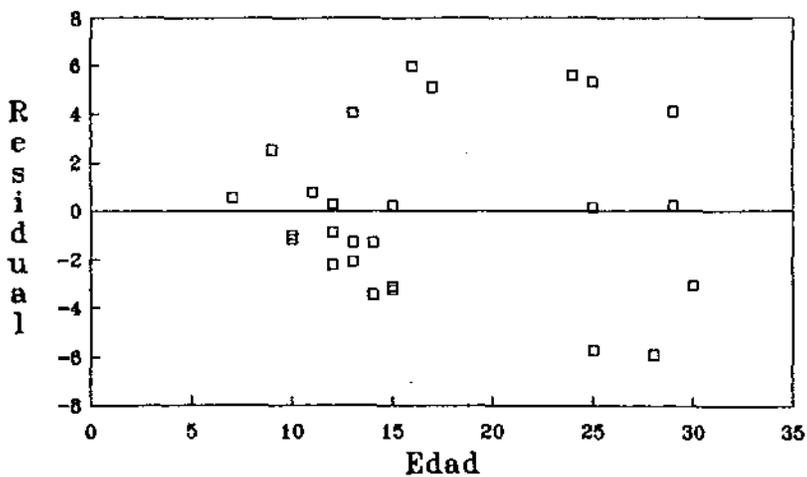
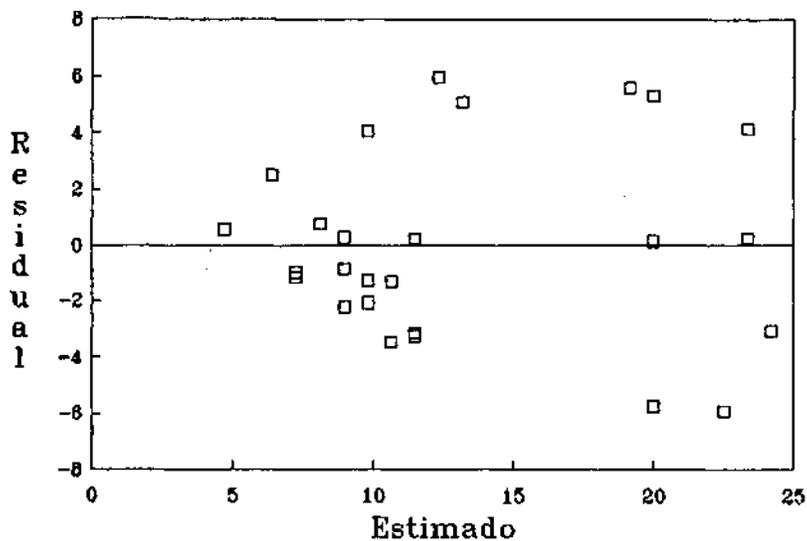


Fig. 13 Distribución de los residuales del modelo 1 para la relación  $Dc - \text{Edad}$

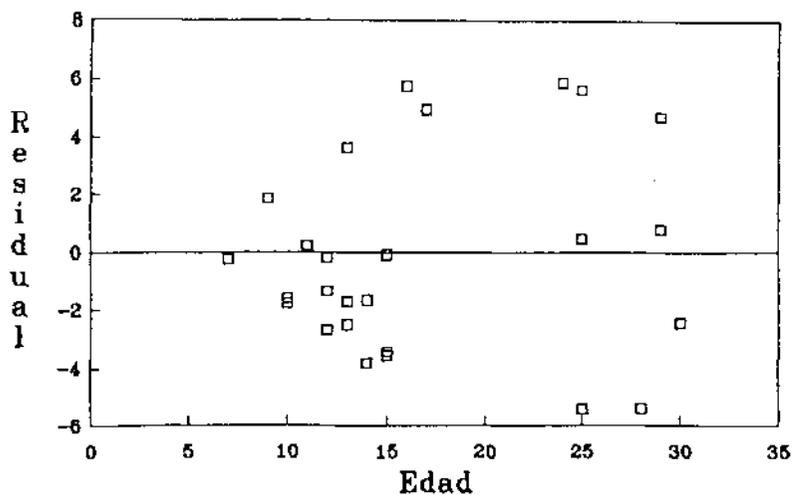
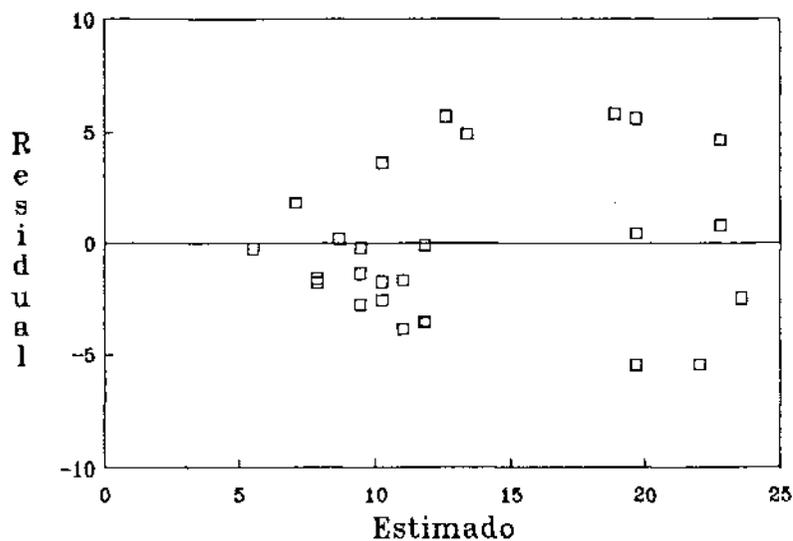
$$Dc = B1 \text{ Edad}$$


Fig. 14 Distribucion de los residuales del 2 de la relacion  $Dc - Edad$ .

$$\ln Dc = \ln B_0 + B_1 E$$

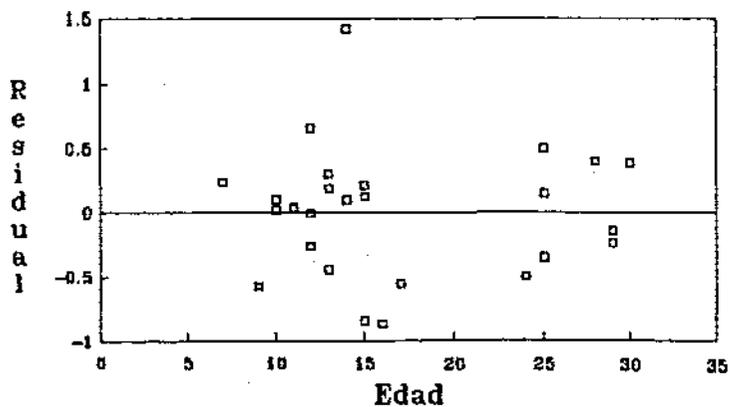
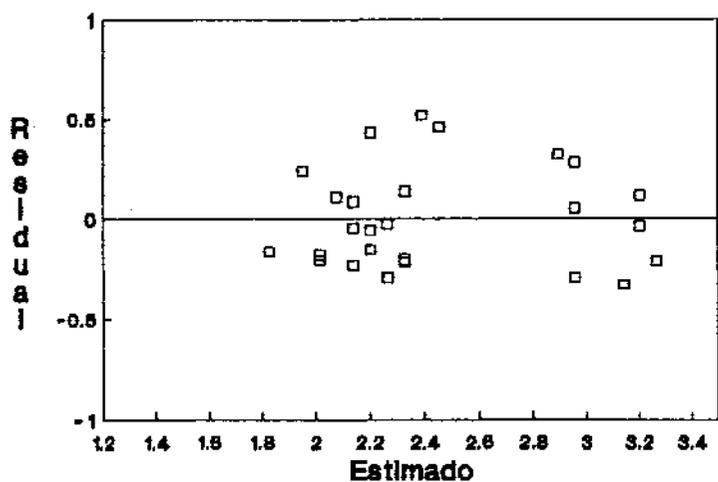


Fig. 15 Distribución de residuales  
para el modelo 3 de la relación  
Dc - Edad.

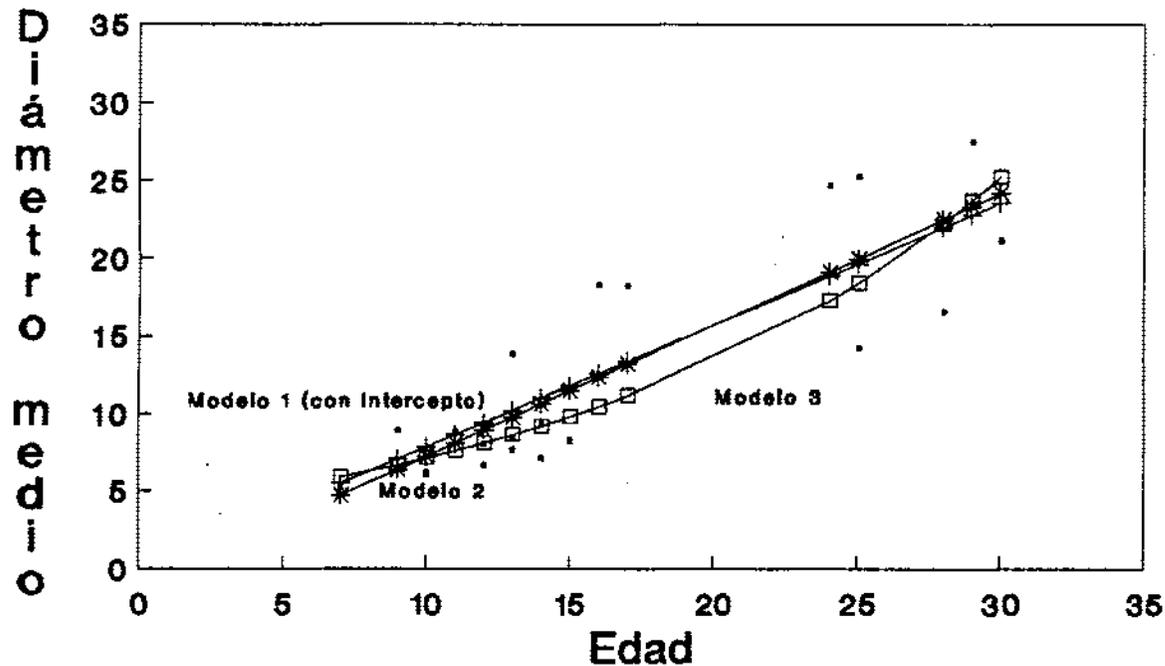


Fig. 16 Modelos ajustados para la relación Dc - Edad

$$\ln I = \ln K - b1 dc$$

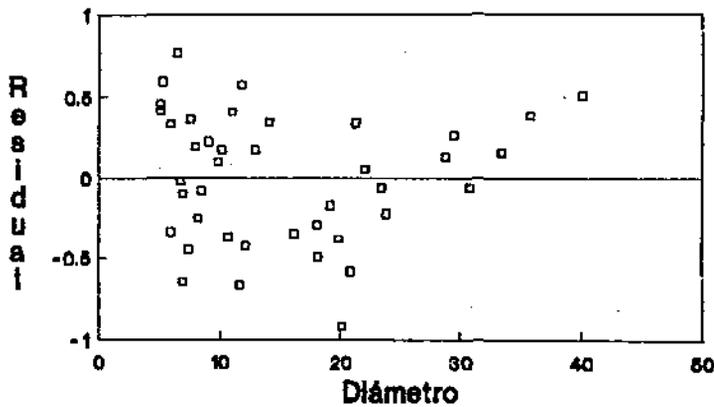
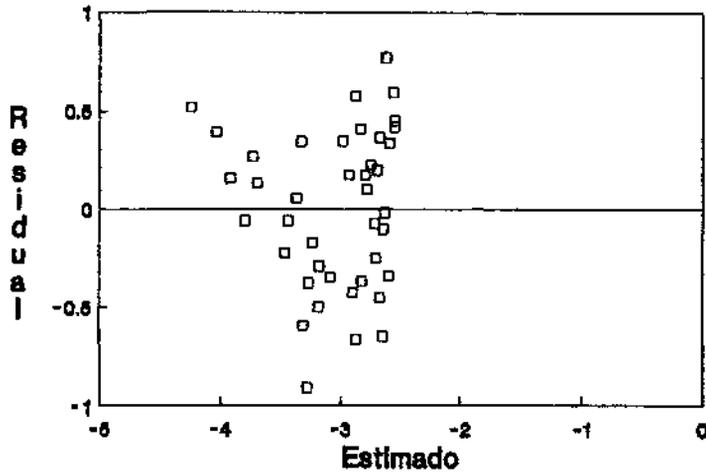


Fig.17 Distribución de los residuos del modelo probado para la relación tasa de incremento relativo-número de árboles

## CUADRO No 1

Algunos cambios ecológicos ocurridos por la muerte de un árbol.

---

- \* Alteración de la estructura de la población de árboles.
  - \* Alteración de la estructura de la comunidad.
  - \* Cambio de la biomasa a necromasa.
  - \* Liberación de recursos.
  - \* Nueva creación de recursos.
    - Estructuras para la fauna (troncos o tocones).
    - Hábitat para organismos degradadores.
    - Formación de compuestos orgánicos complejos.
  - \* Efectos físicos.
    - Muerte de otros árboles y organismos por la caída sobre ellos.
    - Mezcla del suelo (en caso de arrastre).
- 

(tomado de Franklin, J.F. y col. 1987).

NUMERO de SITIO	arb./ha	AB./ha	D.	Dc.	Edad. Prom.	% Vivos ha.	% Muertos ha.	Hd.	Hc.	Hi	Hs.	Sesgo.
1	4.120	25.676	7.70	8.90	9	95	5	15.90	14.50	11.60	11.90	2.72
2	5.520	28.223	7.04	8.06	12	83	17	13.70	12.00	10.00	9.40	2.65
3	5.040	34.477	8.65	9.33	14	93	7	15.50	11.50	7.90	6.00	0.942
4	4.280	28.511	8.50	9.20	12	89	11	16.00	11.90	8.10	7.60	0.802
5	7.400	21.499	5.36	6.08	10	94	6	8.40	7.00	6.50	5.80	1.891
6	11.240	24.264	4.55	5.24	7	89	11	8.30	7.50	7.00	6.50	1.155
7	6.840	20.937	4.80	6.24	10	67	33	9.10	8.00	7.40	6.50	2.663
8	6.320	38.817	7.72	8.84	11	81	19	15.00	14.60	11.00	8.90	1.273
9	10.640	37.735	5.58	6.71	12	80	20	8.10	7.30	5.90	4.50	1.624
10	21.640	54.712	4.76	5.67	9	94	6	6.50	5.30	3.50	*	1.177
11	3.240	48.718	12.78	13.83	13	79	31	17.70	16.00	14.90	13.50	4.167
12	1.140	72.151	23.77	25.25	25	84	16	26.60	25.00	24.00	23.00	1.234
13	1.880	59.484	19.29	20.07	25	94	6	26.00	25.00	23.70	22.70	1.215
14	1.480	51.841	20.14	21.11	30	76	24	30.00	28.70	25.00	23.80	2.144
15	880	52.085	26.27	27.45	29	95	5	28.00	27.50	27.00	26.00	2.479
16	1.080	51.666	22.66	24.68	24	90	10	25.90	24.10	24.00	22.80	0.413
17	960	48.870	25.05	25.45	33	100	0	30.00	29.00	26.60	25.00	0.966

CUADRO N° 2 VALORES ESTIMADOS PARA CADA UNO DE LOS SITIOS MUESTREADOS.

NUMERO de SITIO.	arb. / ha.	AB / ha.	D.	Dc.	Edad. Prom	% Vivos. ha.	% Muertos. ha.	Hd.	Hc.	Hi	Hs.	Sesgo.
18	6.801	31.866	6.66	7.72	13	78	22	11.92	9.70	7.00	4.00	2.801
19	5.177	39.151	10.84	11.68	15	70	30	14.70	13.50	10.75	9.00	1.958
20	1.808	39.039	15.89	16.58	28	88	12	18.60	18.20	16.00	13.70	-1.972
21	1.591	41.745	17.11	18.28	16	81	19	20.15	17.60	13.50	10.00	1.917
22	994	33.531	20.05	20.72	16	77	23	17.15	17.30	15.25	14.00	0.601
23	2.652	41.928	13.27	14.19	25	76	24	16.30	14.06	13.70	9.00	1.353
24	4.712	24.952	7.74	8.21	15	82	18	11.00	9.45	6.75	5.00	0.804
25	1.790	9.730	7.55	8.32	15	67	33	9.80	8.60	7.60	6.90	0.471
26	1.989	52.083	17.56	18.26	17	56	44	17.80	16.25	12.75	11.00	0.334
27	6.069	34.449	8.08	8.50	13	48	52	12.40	11.50	8.20	6.50	-1.049
28	902	20.577	28.51	29.42	31	80	20	30.00	25.30	24.00	22.00	0.623
29	18.836	39.581	6.44	7.16	14	52	48	10.35	9.40	7.90	5.80	2.353
30	961	41.875	22.73	23.55	29	78	22	23.95	22.00	21.00	*	1.807

Hd = ALTURA DOMINANTE.  
 Hc = " CODOMINANTE.  
 Hi = " INTERMEDIOS.  
 Hs = " SUPRIMIDOS.  
 \* = " NO REGISTRADA.

RELACION EVALUADA.	MODELO (S) PROBADO (S)	VALOR DE $r^2$	VALOR DE F.	CONSTANTE K.	VALOR DE b1.
LÍNEA DE MÁXIMA SATURACION.	$\ln NA = \ln K - b1 \cdot \ln Dc.$	0.81	97	12.001	-1.569
EDAD—ALTURA DOMINANTE	1.- $H = b1 \cdot E$	0.95	481		0.937
	2.- $H = K + b1 \cdot E$	0.713	54	3.274	0.774
	3.- $\ln H = \ln K + b1 \cdot \frac{1}{E}$	0.62	36	3.522	-11.540
EDAD NUMERO DE ARBOLES	$\ln NA = \ln K - b1 \cdot E$	0.65	44	9.755	-0.095
DIAMETRO CUADRATICO. EDAD.	1.- $Dc = K + b1 \cdot E$	0.719	56.2	-0.343	0.810
	2.- $Dc = b1 \cdot E$	0.947	366.6		0.793
	3.- $\ln Dc = \ln K + b1 \cdot E$	0.712	54.4	1.437	0.060
TASA DE INCREMENTO RELATIVO. ALTURA DOMINANTE.	$\ln Im = \ln K - b \cdot D.$	0.346	2508	-2.035	0.056

CUADRO N° 3

RESULTADOS DEL ANALISIS ESTADISTICO APLICADO A CADA UNO DE LOS MODELOS PROBADOS