

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES

SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO



DESARROLLO DE UN SISTEMA MATEMÁTICO EN LA
ELABORACIÓN DE PLANES DE MANEJO SOSTENIBLE EN LA
SIERRA LA PRIMAVERA, JALISCO. MÉXICO.

TESIS DE MAESTRÍA

PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN CIENCIAS FORESTALES

PRESENTA:

BIOL. ANTONIO RODRÍGUEZ RIVAS

TM

Z5991

FCF

1997

R6

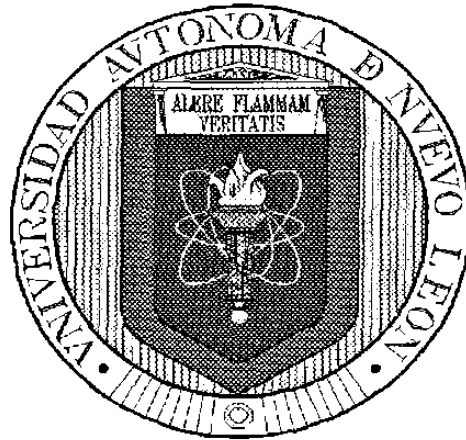


1020120820

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES

SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO



**DESARROLLO DE UN SISTEMA MATEMÁTICO EN LA ELABORACIÓN
DE PLANES DE MANEJO SOSTENIBLE EN LA SIERRA LA PRIMAVERA,
JALISCO. MEXICO.**

TESIS DE MAESTRIA

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

PRESENTA:

BIOL. ANTONIO RODRÍGUEZ RIVAS



**FONDO
TESIS**

TM
25991
FCF
1997
R6

0125-44360

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES

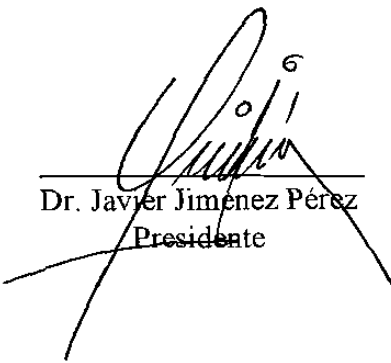
SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO

**Desarrollo de un sistema matemático en la elaboración de
planes de manejo sostenible en la Sierra La Primavera, Jalisco México.**

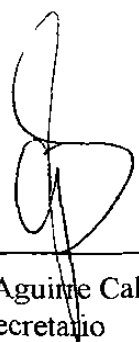
**TESIS DE MAESTRIA
PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN CIENCIAS FORESTALES
PRESENTA:**

BIOL. ANTONIO RODRÍGUEZ RIVAS

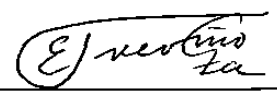
Comisión de tesis



Dr. Javier Jiménez Pérez
Presidente



Dr. Oscar Aguirre Calderón
Secretario



Dr. Eduardo Treviño Garza
Vocal

Linares, Nuevo León, México

Diciembre de 1997

TABLA DE CONTENIDO

Capítulo	Página
RESUMEN	i
ABSTRACT	iii
1.INTRODUCCION	1
1.1Objetivos Generales	3
1.3 <i>Justificación</i>	4
2. REVISION DE LITERATURA	5
2.1 Distribuciones de probabilidades	4
2.1.1Distribución normal	5
2.1.2 Distribución Gama	7
2.1.3 Distribución χ^2	9
2.1.4 Distribución Weibull	11
2.1.5 Distribución lognormal	13
2.2 Bondad de ajuste	14
2.2.1Prueba χ^2 para bondad de ajuste	14
2.2.2 Prueba de Kolmogorov-Smirnov con una muestra parabondad de ajuste	15
2.3 Calidad de sitio	16
2.3.1Definición de sitio	16
2.3.2 Definición de calidad de sitio	16
2.3.3 Clasificación de la calidad de sitio	18
2.3.4 <i>Métodos para estimar calidad de sitio</i>	18
2.4 Definición método índice de sitio	20
2.4.1 Métodos para estimar índice de sitio	21
2.4.2 Métodos indirectos	21
2.4.3 Factores Cualitativos	21
2.4.3.1 Suelo	22
2.4.3.2 Vegetación	25

2.4.3.3 Clima	28
2.4.4 Factores cuantitativos	28
2.4.5 Determinación de la productividad a través de análisis epidométricos	28
2.4.6 Aplicación de modelos matemáticos	32
2.4.6.1 Modelo de Weibull	32
2.4.6.2 Modelo de Schumacher	33
2.4.6.3 Modelo de Gompertz	33
2.4.6.4 Modelo logístico	34
2.5 Volumen	35
2.5.1 Determinación de volumen	35
2.5.1.1 Métodos directos y métodos indirectos	36
2.5.1.2 Métodos indirectos	37
2.5.2.2 Métodos directos	37
2.6 Definición de tabla de volumen	38
2.6.2 Empleo de tablas de volumen	40
3. MATERIALES Y METODOS	50
3.1 Descripción de las especies en estudio	50
3.2 Descripción del área de estudio	51
3.2.1 Geomorfología	53
3.2.2 Geología superficial	53
3.2.3 Hidrología superficial	54
3.2.4 Climatología	54
3.2.5 Vegetación	55
3.3 Metodología de la remediación del campo experimental Bosque Escuela	58
3.4 Metodología para estratificación del área de estudio	58
3.4.1 Preparación del material fotográfico	58
3.4.2 Desarrollo del proceso de estratificación	59
3.4.3 Clasificación de estratos	59
3.4.4 División de estratos	59
3.5 Metodología para determinar la estructura del rodal	60

3.5.1 Determinación de la estructura del rodal, mediante distribuciones diamétricas	60
3.6 Metodología para la determinación de la calidad de estación de <i>Pinus oocarpa</i> y <i>Quercus resinosa</i>	62
3.6.1 Aplicación de modelos matemáticos para determinar la calidad de estación de <i>Pinus oocarpa</i>	63
3.7 Metodología para determinación volumétrica de <i>Pinus oocarpa</i>	65
3.7.1 Tamaño de muestra de muestra	66
3.7.2 Determinación de altura y diámetro por árbol	66
3.7.3 Cálculo del área basal de cada sección	67
3.7.4 Determinación del volumen de cada una de las secciones	68
3.7.5 Determinación del volumen del ápice del árbol	68
3.7.6 Determinación del volumen total por árbol	68
3.7.7. Construcción de una tabla volumétrica	69
4. Resultados	72
4.1 Remedición de la superficie del Campo Experimental Bosque	72
4.2 Estratificación del Campo Experimental Bosque-Escuela (CEBE) realizada mediante fotografía aérea	74
4.3 Vegetación presente en el estrato II	74
4.4 Estructura del rodal	76
4.4.1 Evaluación de variables de medición para el estrato II	76
4.5 Estructura de un rodal de <i>Pinus oocarpa</i> mediante categorías diamétricas	77
4.5.1 Estructura del rodal de <i>Pinus oocarpa</i> mediante coeficiente de variación para categorías diamétricas	79
4.6 Distribuciones probabilísticas de densidad para la estructura del rodal <i>Pinus oocarpa</i> considerando el diámetro a 1.30 m	80
4.7 Estructura del rodal para <i>Quercus resinosa</i>	90
6.7.1 Evaluación de variables para el estrato II	90
6.7.3 Estructura del rodal de <i>Quercus resinosa</i> mediante coeficiente de variación para categorías diamétricas	91

4.7.4 Distribuciones probabilísticas de densidad de la estructura del rodal de <i>Quercus resinosa</i> considerando el diámetro a 1.30 m	93
4.8 Resultado de la calidad de estación para <i>Pinus oocarpa</i>	101
4.8.1 Categorización de la altura	101
4.8.2 Categorización de la edad	102
4.8.3 Modelos aplicados para determinar la calidad de sitio	102
4.9 Construcción analítica gráfica del índice de sitio	106
5 Determinación de la edad base	107
5.1 Construcción de curvas de calidad de sitio	107
5.2 Volumen para <i>Pinus oocarpa</i>	109
5.3 Determinación de volumen	109
5.4 Definición y estimación volumétrica individual	109
5.5 Construcción de una tabla volumétrica	110
6. Discusión y conclusión de la remediación de la superficie del Campo Experimental Bosque Escuela	119
6.1 Discusión y conclusión de la estratificación del área de estudio	120
6.2 Discusión y conclusión de la estructura del rodal	120
6.3 Discusión y conclusión de la calidad de estación para <i>Pinus oocarpa</i>	122
6.4 Discusión y conclusión del volumen para <i>Pinus oocarpa</i>	123
7. Literatura citada	124

LISTA DE TABLAS

Tablas	Página
Tabla 1. Modelos aplicados a <i>Pinus oocarpa</i> para obtener la calidad de sitio	63
Tabla 2. Modelo matemáticos empleados para la construcción de tablas volumétricas de <i>Pinus oocarpa</i>	70
Tabla 3. Vegetación presente en el estrato II y porcentaje de la comunidad.	75
Tabla 4. Medidas de tendencia central y medidas de dispersión para la variable de diámetro de <i>Pinus oocarpa</i> Schiede	76
Tabla 5. Resultados de las distribuciones probabilísticas empleadas a <i>Pinus oocarpa</i>	84
Tabla 6. Prueba de bondad de ajuste χ^2 para la distribución Weibull de <i>Pinus oocarpa</i>	85
Tabla 7. Prueba de bondad de ajuste Kolmogorov-Smirnov para la distribución Weibull de <i>Pinus oocarp</i>	86
Tabla 8. Prueba de bondad de ajuste χ^2 para la distribución gama de <i>Pinus oocarpa</i>	88
Tabla 9. Prueba de bondad de ajuste Kolmogorov-Smirnov para la distribución gama de <i>Pinus oocarpa</i> .	89
Tabla 10. Medidas de tendencia central y medidas de dispersión para la variable diámetro de <i>Quercus resinosa</i>	90
Tabla 11. Resultados de las distribuciones probabilísticas empleadas en <i>Quercus resinosa</i>	96
Tabla 12. Prueba de bondad de ajuste χ^2 para la distribución Weibull de <i>Quercus resinosa</i>	97
Tabla 13. Prueba de bondad de ajuste Kolmogorov - Smirnov para la distribución Weibull de <i>Quercus resinosa</i> .	98
Tabla 14. Prueba de bondad de ajuste χ^2 para la distribución gama de <i>Quercus resinosa</i>	99
Tabla 15. Prueba de bondad de ajuste Kolmogorov-Smirnov para la distribución gama de <i>Quercus resinosa</i>	100

Tabla 16. Categorías de altura de <i>Pinus oocarpa</i>	101
Tabla 17. Categorías de edad de <i>Pinus oocarpa</i>	102
Tabla 18. Coeficientes de los modelos empleados para determinar la calidad de sitio de <i>Pinus oocarpa</i>	103
Tabla 19. Medidas de tendencia central y de dispersión para el coeficiente de forma de <i>Pinus oocarpa</i>	108
Tabla 20. Valores de altura que establecen cada curva de calidad de estación de <i>Pinus oocarpa</i>	107
Tabla 21. Modelos matemáticos empleados para la estimación volumétrica de <i>Pinus oocarpa</i>	110
Tabla 22. Resultado de análisis de varianza del modelo seleccionado para construir una tabla de volumen de <i>Pinus oocarpa</i>	111
Tabla 24. Tabla de volumen para <i>Pinus oocarpa</i> en la Sierra de La Primavera, Jal. Méx.	112

LISTA DE MAPAS

Mapas	Página
Mapa 1. Mapa Base del Campo Experimental Bosque - Escuela del Departamento de Madera, Celulosa y Papel "Ing. Karl Augustin Grellman.	52

LISTA DE GRAFICAS

Gráficas	Página
Gráfica 1. Categoría diamétrica para <i>Pinus oocarpa</i>	78
Gráfica 2. Categoría diamétrica con coeficiente de variación para <i>Pinus oocarpa</i>	79
Gráfica 3. Distribución normal del diámetro para <i>Pinus oocarpa</i> .	82
Gráfica 4. Distribución χ^2 del diámetro para <i>Pinus oocarpa</i> .	82
Gráfica 5. Distribución gama del diámetro para <i>Pinus oocarpa</i>	83
Gráfica 6. Distribución Weibull del diámetro para <i>Pinus oocarpa</i>	83
Gráfica 7. Distribución lognormal de diámetro para <i>Pinus oocarpa</i>	84
Gráfica 8. Coeficiente de variación de categorías diamétricas para <i>Quercus resinosa</i>	91
Gráfica 9. Categoría diamétrica para <i>Quercus resinosa</i>	92
Gráfica 10. Distribución normal del diámetro para <i>Quercus resinosa</i> .	94
Gráfica 11. Distribución χ^2 del diámetro para <i>Quercus resinosa</i> .	94
Gráfica 12. Distribución Gama del diámetro para <i>Quercus resinosa</i>	95
Gráfica 13. Distribución Weibull del diámetro para <i>Quercus resinosa</i> .	95
Gráfica 14. Distribución lognormal del diámetro para <i>Quercus resinosa</i> .	96
Gráfica 15. Comportamiento de la curva del modelo de Backman	104
Gráfica 16. Comportamiento de la curva del modelo de Schumacher	105
Gráfica 17. Comportamiento de la curva del modelo de Chapman & Richards	106
Gráfica 18. Índice de sitio para <i>Pinus oocarpa</i>	108

RESUMEN

Este trabajo tuvo como finalidad el desarrollo de un sistema matemático en la elaboración de planes de manejo en la Sierra La Primavera, Jal. México. Dentro del trabajo se contemplaron 5 objetivos. 1. Remedición de la superficie del Campo Experimental Bosque Escuela (CEBE); 2. Estratificación del Campo Experimental Bosque Escuela mediante fotografía aérea escala (1:10,000). 3. Establecer la estructura del rodal del *Quercus resinosa* Liemb y *Pinus oocarpa* Schiede. 4. Determinar la calidad de sitio y Construir una tabla volumétrica para *Pinus oocarpa*.

Para el desarrollo de este trabajo se recorrió el perímetro del Campo Experimental Bosque Escuela (CEBE) y se tomaron 101 coordenadas con el GPS con la finalidad de establecer la superficie total del mencionado campo; además se utilizó información del Inventario Forestal (1990 -1993) realizado en el área de estudio.

La estratificación del área se basó en la interpretación en la fotografía aérea de la presencia o ausencia de arbolado, la ausencia de éste se denominó estrato III que contó con 168 sitios, con regular abundancia de copas se denominó estrato II con 157 sitios y la ausencia o mínima presencia de copas de árboles fue para el estrato I con 126 sitios. Para este trabajo se decidió trabajar con el estrato II por ser el más representativo en el área de estudio así como en La Primavera.

Para determinar la estructura del rodal se consideraron tres representaciones, una mediante la graficación de las categorías diamétricas, otra tomando en cuenta categorías diamétricas con su coeficiente de variación y por último la aplicación de distribuciones de probabilidad de densidad (normal, χ^2 , gama, Weibull y lognormal). La determinación de las distribuciones para cada una de las especies se basó de acuerdo a su prueba de bondad de ajuste, para ambas especies *Pinus oocarpa* y *Quercus resinosa* el mejor ajuste lo

represento la distribución Weibull en su prueba de bondad Kolmogorov Smirnov.

Para determinar la calidad de sitio para *Pinus oocarpa* se aplicaron tres modelos, se selecciono el modelo de Schumacher con el que se tomo una edad base de 50 años y con el que se realizaron cinco calidades de estación (9,11,13,15 y 17 m).

Para el volumen de *Pinus oocarpa* fue necesario obtener información en campo con el apoyo del telerrelascopio de Bitterlich, con el cual facilito obtener el coeficiente mórfico, con él se calculo el volumen y posteriormente se aplicaron 6 modelos de regresión lineal y múltiple para la construcción de una tabla volumétrica.

1. INTRODUCCIÓN

Los beneficios que proporcionan los bosques mundiales, nacionales y locales deben de sufrir las alteraciones mínimas o que permanezcan imperturbadas, tal base es la filosofía conservacionista. Otra tendencia es que los bosques deben ser aprovechados para obtener de ellos productos (*Elliot, 1996*).

El aprovechamiento y/o protección de los bosques esta en función de su diversidad tanto de especies vegetales como animales. Las áreas forestales de protección son las denominadas "Áreas Naturales Protegidas", las cuales están consideradas en la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA) Actualizada como Reservas de la Biosfera, Parques Nacionales, Monumentos Naturales, Áreas de Protección de Recursos Naturales, Áreas de Protección de Flora y Fauna, Santuarios, Parques y Reservas Estatales y Zonas de Preservación Ecológica en los Centros de Población. Tal como se menciona en el artículo 45 fracción VIII, el objeto de estas áreas es preservar los ambientes naturales representativos, salvaguardar la diversidad genética, asegurar el aprovechamiento sustentable, realizar investigaciones, rescatar y divulgar conocimientos prácticos y tecnológicos tradicionales o nuevos que favorezcan la preservación y aprovechamiento sustentable de la diversidad del territorio nacional. Además de proteger las vías de comunicación, instalaciones industriales y aprovechamientos agrícolas mediante zonas forestales que favorezcan el ciclo hidrológico de cuencas así como aquellos elementos que se relacionen ecológicamente entre si. Y por último el proteger entornos naturales de zonas monumentos y vestigios arqueológicos, históricos y artísticos; así como zonas turísticas y áreas de importancia para la recreación, la cultura y de los pueblos indígenas (LGEEPA, 1997).

Las áreas naturales del estado de Jalisco son la Reserva de la Biosfera de Manantlán (139,500 ha), Sierra de Quila (15,192 ha), Reserva de la Biosfera de

Chamela - Cuitzmala (13,143 ha), Parque Nacional Nevado de Colima (10,143 ha) y La Primavera (30,500 ha).

Dentro de la superficie de La Primavera se encuentra el Campo Experimental Bosque Escuela (CEBE) localizado al suroeste de la Sierra La Primavera. El campo en mención cuenta con una superficie de 951.8447 ha, las cuales se encuentran distribuidas entre la zona núcleo y la zona de amortiguamiento. En este Campo Experimental se realizan actividades de preservación, propagación, refugio e investigación, educación y difusión de las mismas, tal como se menciona en el art. 45 de la citada ley.

Con el apoyo de la información obtenida en el inventario, se desarrollaron metodologías silvícolas para un manejo forestal sustentable a nivel de rodal. La información más importante fue la estructura del rodal que se encuentra determinada mediante la distribución de clases diamétrica del arbolado la cual presenta transformaciones a través del tiempo, a causa del crecimiento, mortalidad y del arbolado. (Husch, *et al.* 1982). Asimismo, otro parámetro importante a considerar como variable epidométrica dentro de un ecosistema forestal es la calidad de sitio de la población.

A su vez, parte importante de un rodal es el crecimiento en diámetro que se presenta para cada categoría diamétrica. Este incremento aunado a un conjunto de variables dendrométricas determinan el volumen maderable de las especies, por lo que se deben elaborar tablas volumétricas en forma específica.

1.1 OBJETIVO GENERAL

La generación del conocimiento, mediante el desarrollo y aplicaciones de técnicas ecológico - silvícolas, a través de un Plan de Manejo Forestal Sustentable. Es importante resaltar que la adecuación de éstas técnicas se realizan en función de la información recabada en el Inventario Forestal Continuo (IFC) del Departamento de Madera, Celulosa y Papel de la Universidad de Guadalajara "Ing. Karl Augustin Grellmann".

1.2 OBJETIVOS PARTICULARES

- 1.2.1 Reemedición de la superficie del Campo Experimental Bosque Escuela (CEBE).
- 1.2.2 Estratificación de la superficie del Campo Experimental Bosque Escuela mediante la observación de densidad del arbolado, con el apoyo de las fotografías aéreas.
- 1.2.3 Determinación de la distribución diamétrica para *Pinus oocarpa* y *Quercus resinosa*.
- 1.2.4 Determinar las funciones probabilísticas de densidad normal, χ^2 , gama, Weibull y lognormal.
- 1.2.5 Definición de calidad de sitio para *Pinus oocarpa*.
- 1.2.6 Determinación volumétrica de *Pinus oocarpa*.

1.3 Justificación

A partir del 6 de marzo de 1980 se establece mediante decreto presidencial "Sierra La Primavera" como Zona de Protección Forestal y Refugio de Flora y Fauna Silvestre. En la actualidad se cuenta con un programa de manejo para la mencionada sierra, pero la cual dentro del programa presenta deficiencia en técnicas silvícolas por la falta de metodologías forestales adecuadas lo que impiden que el rodal no pueda ser intervenido de una manera técnica y racional, por lo que ésta investigación pretende diseñar un Plan de Manejo Forestal. El que sería de gran utilidad a los diferentes condiciones que se presenten en la mencionada sierra, y con ello realizar intervenciones en los lugares que así lo ameriten.

2. REVISION DE LITERATURA

2.1 Distribuciones de Probabilidades

En contraste con las variables discretas, una variable continua puede presentar variaciones de su infinito positivo e infinito negativo.

2.1.1 Distribución normal

Es conocida como curva normal, laplaciana o gaussiana. Esta distribución es una herramienta para conocer los fenómenos biológicos, los cuales se representan en la naturaleza distribuidos de manera normal y son una aproximación excelente a una gran cantidad de distribuciones (Meyer, 1973); esta distribución representa la base de gran parte de la teoría estadística aplicada (Steel y Torrie, 1992).

Esta situación puede verse reflejada en estudios de bosques jóvenes, como sucede en la distribución de sus anillos anuales, una muestra de observaciones en la que la información presenta una fuente entre uno y diez mm, en el que al realizar un histograma se presenta un número finito del ancho de clases.

En teoría como cualquier subdivisión de *permitir una infinidad continua y más observaciones podría agregarse al ejemplo*. El paso de la función en la que las características de una variables discreta se presentan en un histograma podrían presentar una curva simétrica suave.

En rodales coetáneos la relación entre el diámetro y altura; ancho y largo de agujas; densidad de la madera, pueden presentarse por curvas la que asumen

una distribución normal es una importancia crítica también en problemas de calidad estadística (Van, 1991).

La justificación de una distribución normal de una variable al azar continua esta basada en la sumatoria de ésta, en la que en particular la variable al azar desconocida presenta un efecto sobre la variable. La distribución de una variable puede tender a una distribución normal, de una forma de la distribución de cada componente aditivo.

Esta distribución representa una forma de campana y su función de densidad bajo la curva representa la probabilidad de 1. La distribución es una forma asimétrica y en su parte central se encuentra la media μ ; y la dispersión σ que se establece mediante la amplitud o el tamaño de la campana.

Por lo tanto para localizar la probabilidad dentro de la campana se determina por medio de su media μ y σ ; y éstos al presentar diferentes valores se tendrá una gran cantidad de distribuciones normales con una campana con diferente forma.

Esta distribución de probabilidad se representa bajo la siguiente fórmula:

$$Y = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2} (x-\mu)^2 / \sigma^2}$$

La distribución normal específica es definida solamente por los parámetros μ y σ . En orden de probabilidad de cálculo de la densidad para $x = x$, al describir una distribución específica para establecer un valor de la media y la varianza expresada como una desviación de la media de la población, con la desviación estándar de la población es una unidad de promedio $z = (x - \mu / \sigma)$ son 0 y 1 respectivamente. En consecuencia alguna distribución la cual pertenece a la

familia de la distribución normal, pueden ser transformadas dentro del estándar a una distribución normal para la traducción del origen y cambio de escala. Por lo que la función de densidad de una función es:

$$f(z; 0; 1) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2} z^2}$$

$$E(x) = \mu$$

$$V(x) = \sigma^2$$

Las propiedades de una curva estándar normal es:

- a) La curva se extiende entre $-\infty + \infty$.
- b) Es simétrica con respecto a $z = 0$.
- c) La moda de la distribución coincide con la media μ .
- d) La curva normal presenta dos puntos de flexión es cóncava hacia arriba $\mu - \sigma < \mu + \sigma$.
- e) El área debajo de la curva es igual a 1.

(Van, 1991).

2.1.2 Distribución Gama

Sea x una variable aleatoria continua que toma sólo valores no negativos, decimos que x tiene una distribución de probabilidad gama si su función de densidad de probabilidades ésta dada por :

$$f(x) = (\alpha / \Gamma(x)) x^{\alpha-1} e^{-\alpha x}, x > 0 \quad = 0 \quad \text{Para cualquier otro valor}$$

Por lo que al representarse $r = 1$ la ecuación se transforma en $f(x) = \alpha e^{-\alpha x}$.

En caso de que $r = > 1$, se representa una distribución exponencial que es un

caso especial de la distribución Gama. Se relaciona con la distribución Gama, pero con una *ligera* diferencia.

Existe una relación similar con la distribución de Poisson y Gama, considerando que esta última es una distribución continua. Esto es cuando se tiene interés en un número de ocurrencias de algún suceso durante un período fijo de tiempo. En cambio en la distribución Gama aparece cuando pedimos la distribución del tiempo necesario para obtener un número específico de ocurrencias del suceso (Meyer, 1973).

Otra definición es la de Navar (1994), establece que al graficar la distribución normal y distribución t presentan por lo general simetría. Al no presentar una forma de éste tipo o sea distribuciones sesgadas como las de la distribución gama.

Se establece cuando una variable aleatoria continua x se dice que tiene una distribución gama si su función de probabilidad es:

$$f(x; \alpha; \beta) = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-x/\beta}$$

$$E(x) = \mu = \alpha \beta; V(x) = \alpha \beta^2$$

α y β satisfacen $\alpha > 0$ y $\beta > 0$. Por lo tanto la distribución gama estandarizada se representa $\beta = 1$.

Otra definición realizada por Van (1991) menciona que la distribución es apropiada para describir los sistemas de distribución del tiempo de vida, el cual se encuentra integrado de un número de componentes y cada uno de ellos forman una parte vital para la funcionalidad del sistema. De fallar un componente, un segundo es activado y el que presenta dificultades es

reemplazado por el tercer componente. Por lo que el tiempo de vida del sistema es igual a la suma del tiempo de vida del componente esencial. Esta suposición con la forma de la distribución gama es de cada uno de los componentes presentan una distribución exponencial, con un valor del parámetro θ . La densidad de la función de dos parámetros de la distribución gama es:

$$f(x; \alpha; \beta) = \frac{x^{\alpha-1} \exp(-x/\beta)}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} \quad \begin{array}{l} \text{Para } x \geq 0 \\ \text{Para } x \leq 0 \end{array}$$

$$= 0 \quad \text{para } x < 0$$

con α ($\alpha > 0$) y β ($\beta > 0$) la existencia de dos parámetros de la distribución $\Gamma(\alpha)$ representa la función gama.

$$\int x^{\alpha-1} e^{-x} dx$$

Esta tiene que ser tabulada para un valor de α entre 1 y 2. El procedimiento de esta fórmula se emplea para obtener la función gama para un valor de α mayor de 2.

$$\Gamma(\alpha + 1) = \alpha \Gamma(\alpha)$$

y más general para obtener n se aplica la ecuación.

$$\Gamma(n + 1) = n \Gamma(n)$$

La media y la varianza de la distribución gama son

$$\mu = \alpha \beta \quad \text{y} \quad \sigma = \alpha \beta^2$$

2.1.3 Distribución χ^2

Es de gran utilidad en inferencias estadísticas, esta distribución se encuentra tabulada para diversos valores del parámetro n , cuando el número de grados de libertad es menor o igual a 45. Por lo que al ser mayor de éste valor es posible aproximar de una distribución χ^2 a una distribución normal. Tal como lo

menciona Meyer (1973) en este teorema: Supóngase que la variable aleatoria γ tiene una distribución χ_n^2 , entonces si n es suficientemente grande la variable aleatoria $\sqrt{2}\gamma$ aproximadamente presenta una distribución $N(\sqrt{2n} - 1)$ (Meyer, 1973).

La muestra al azar de un tamaño n son tomados de una distribución normal (μ, σ^2) .

$$\chi^2 = \sum (X - \mu)^2 / \sigma^2$$

Esta es calculada para cada muestra. Esta distribución χ^2 . La función de densidad es:

$$f(X;V) = \frac{1}{2^{1/2 V} \Gamma(1/2 V)} e^{-1/2 X^2 / V}$$

(Van, 1991).

Si es calculada para cada ejemplo. Esta distribución esta dada por la distribución. La función de densidad

$$f(x) = \frac{\alpha}{\Gamma(r)} (\alpha x)^{r-1} e^{-\alpha x}, x > 0$$

Otra definición presentada por Navar (1994) en la v sea un entero positivo, entonces una variable aleatoria continua x se establece como una distribución χ^2 con un parámetro v , y su función de probabilidad de densidad es:

$$f(x; v) = \frac{1}{2^{v/2} \Gamma(v/2)} x^{(v/2) - 1} e^{-x/2}$$

Esta distribución es de importancia por que es la base para un número de procedimientos en estadística inferencial, siendo sus varianzas ajustadas bien a esta distribución. En particular como la prueba de f se emplean métodos estadísticos y se usan a partir del índice de dos varianzas y por lo tanto de dos distribuciones de χ^2 (Navar 1993).

La función de densidad es un caso especial de la función de densidad gama, con $\alpha = \frac{1}{2}$ y $\beta = \frac{1}{2}$. La distribución χ^2 presenta las siguientes propiedades.

- a) La curva de densidad se extiende entre 0 y el infinito.
- b) La distribución es un parámetro y el promedio es igual al número de grados de libertad, que únicamente define a una cierta distribución.
- c) La curva de distribución es una curva decreciente para $v = 1$ y $v = 2$ y es una simetría unimodal para $v > 2$. Con el número de grados incrementa y tiende a una distribución normal (0,1).
- d) Para $n > 40$, la cantidad.

$$z = \sqrt{2 \chi^2} - \sqrt{2n - 1}$$

Se aproxima a una distribución normal Fisher, Yates en 1960 citados por (Van, 1991). En el caso de un largo ejemplo pueden ser usados percentiles para χ^2 .

$$\chi^2 = v \left[1 - \frac{2}{9v} + z \frac{1}{2} \alpha \sqrt{\frac{2}{9v}} \right]^3$$

Para $n = 100$ y $P = 0.05$ nosotros leemos de $\chi^2 = 124.3$ y $z = 1.64$.

- g) Si k es una variable independiente seguimos la distribución χ^2 con $v_1, v_2 \dots v_k$ grados de libertad, su suma es una variación de χ^2 tiene una aplicación útil en una prueba no paramétrica en modelos de categorización.

h) Para $n = 1$ puede escribirse como sigue.

$$\chi^2_{\alpha, 1} = z^2_{1/2 \alpha}$$

En consecuencia si el seguimiento de una variable de una distribución estándar normal $(0,1)$, este cuadrado es una variable de χ^2 con un solo grado de libertad (Van, 1991).

2.1.4 Distribución Weibull

Dentro de las variables probabilísticas para variables continuas se encuentra una gran variedad como son las distribuciones normal, gama, exponencial. Pero es posible presentarse situaciones en que no se ajusten a ninguna de las distribuciones antes mencionadas, siendo posible ajustarse a una distribución Weibull.

Un físico sueco introdujo esta distribución para variables continuas al describir el tiempo de vida de una distribución de un sistema debajo del estrés. Este sistema consiste de un gran número de componentes en el cada uno es propio del tiempo de vida de la distribución. Si un componente es detallado o analizado el sistema entero falla y después el tiempo de vida del sistema es igual al tiempo de vida de este debilitado componente (Van, 1991).

La distribución puede también ser usada a un modelo esperado hasta un tiempo de ocurrencias de un evento, el cual toma un lugar dando un factor causal que es activado. En el aspecto forestal tiene que se usado sucesivamente al modelo al tamaño de la distribución de árboles dentro de un rodal. La función de densidad para los dos parámetros de la distribución Weibull es la siguiente:

$$f(x; \alpha, \beta, \gamma) = (\beta / \alpha^\beta) x^{\beta-1} \exp [-(x / \alpha)^\beta]$$

$$x > 0$$

Los parámetros estimados son denotados como x , α , β y γ y en muchas instancias el parámetro de localización es cero y la distribución de x mediante dos parámetros puede ser descrita por la función de densidad. La distribución acumulativa es:

$$f(x) = 1 - \exp [-(x / \alpha)^\beta]$$

2.1.5 Distribución lognormal

La distribución lognormal supone esa independencia de efectos al azar de factores incontrolables sobre la variable x , son multiplicativos en lugar adictiva. Si esta sostiene la verdad, la variable transformada $Y = \ln(x)$ tiene una distribución lognormal. Esta función de densidad de probabilidad con μ y σ^2 representando la media y la varianza de los datos transformados (Van, 1991).

Otra definición de Navar (1994). Al presentar una variable aleatoria positiva x puede determinarse una distribución lognormal, cuando la variable aleatoria $Y = \ln(x)$. Por lo que su función probabilística de densidad es:

$$f(x; \mu, \sigma^2) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_y} x} e^{[-\ln(x) - \mu] / 2\sigma^2}$$

El valor esperado y la varianza de x es:

$$E(x) = e^{\mu + 1/2 \sigma^2}$$

$$\sigma^2 = e^{2\mu + \sigma^2} (e^{\sigma^2} - 1)$$

Por la transformación logarítmica de las observaciones se ajustan a una distribución normal, esta última se emplea en la estimación de las probabilidades solo que en forma lognormal.

Por lo que su parámetro z se obtiene con los datos transformados logarítmicamente (Navar, 1994).

2.2 Bondad de ajuste

Un aspecto crítico es encontrar la distribución de probabilidades que mejor describe una variable aleatoria (conjunto de datos). Para este propósito existen muchas técnicas (Steel *et al.* 1992), veremos dos de ellas.

2.2.1 Prueba χ^2 para bondad de ajuste

De la información obtenida de un conjunto de datos o variables de interés es establecer cuáles es su distribución.

Esta prueba se establece mediante la ecuación siguiente:

$$\chi^2 = \sum (\text{Observado} - \text{Esperado})^2 / \text{Esperado}$$

La información recabada se ajusta a una categoría, la cual no es necesario definir a una escala, aunque si es posible realizar este procedimiento. Con el procedimiento se calculan las probabilidades que existen para cada una de las categorías o celdas en el que establecen, en el que Conchran menciona que ninguno de éstos sea menor que 1. Las probabilidades pueden establecerse por teoría o partir de los datos (Steel *et al.* 1992).

2.2.2 Prueba de Kolmogorov-Smirnov con una muestra para bondad de ajuste

La prueba fue desarrollada por Kolmogorov en la que se prueban hipótesis con parámetros dados de distribuciones continuas. Esta prueba se establece como conservadora porque $P(\text{rechaza } H_0 | H_0 \text{ verdadera}) < \alpha$ tabulada, cuando se estima sus parámetros, otro de los usos es la prueba de hipótesis de distribuciones discretas.

Existe la prueba de Kolmogorov-Smirnov con dos muestras la que fue desarrollada por Smirnov, por lo que la semejanza de las pruebas se asocian ambas pruebas con estos nombres (Steel *et al.* 1992).

La prueba compara lo observado con la distribución de la frecuencia acumulada esperada de la variable. Los parámetros de la distribución no son conocidos y estimados de un ejemplo. La prueba estadística D es definida como una diferencia máxima entre lo observado y la frecuencia acumulada esperada, dividida por un tamaño de muestra.

$$D = \max |F_{\text{obs}} - F_{\text{exp}}| / n$$

(Van, 1991).

Para la prueba es necesario la distribución muestral acumulada y la distribución acumulada hipotética, probándose la prueba alternativas bilaterales.

$$D = \sup |F_n(\gamma) - F_0(\gamma)|$$

2.3 CALIDAD DE SITIO

2.3.1 Definición de sitio

El sitio lo define Spurr *et al.* (1952) para aspectos de dasonomía como área o localidad que tiene la capacidad para el desarrollo de los árboles.

Arteaga, 1988 considera un sitio en dos sentidos, uno como una localización geográfica y otra como todas aquellas condiciones del ambiente, entre los que se encuentran factores edáficos, bióticos y climáticos, que se encuentran en una localidad particular.

Debido a éstas definiciones es posible clasificarlo cualitativamente donde intervienen factores como el clima, suelo y vegetación; cuantitativamente cuando se establece formas en la determinación de la potencialidad de producir bienes tangibles (Avery y Burkhart, 1983).

La Sociedad de Forestales Americanos en 1958 definen el sitio como una área, y con aquellos todos sus factores ecológicos tienen la capacidad de producir productos forestales y otra tipo de vegetación; y los factores bióticos, clima y suelo condicionan una área (Zepeda *et al.* 1984).

2.3.2 Definición de calidad de sitio

Husch *et al.* (1982) amplia está definición incluyendo la suma de los factores ambientales expresada como la calidad de sitio y el crecimiento de los árboles relacionada a la interacción del ambiente con la capacidad genética de la especie. Dentro de la influencia del ambiente se incluyen factores climáticos en los que se encuentran temperatura, precipitación, insolación y viento. A los

factores edáficos se incluye las propiedades químicas, físicas, humedad, los factores fisiográficos son; altitud, exposición y pendiente. En los factores biológicos se encuentra la competencia menor y la interacción de flora y fauna.

Rosales *et al.* en 1982 definen la calidad de sitio como un término no claro que indica la productividad relativa de una localidad, especie determinada y cuya medición se hace a través de índice de sitio (índice de estación o calidad) (Zepeda *et al.* 1984).

Zepeda *et al.* (1984) mencionan diversos términos aplicados a definir calidad de sitio, tales como potencial productivo, capacidad productiva, calidad de estación, ésta última en el ámbito forestal se refiere a la capacidad y grado de producción de un lugar (productividad), indicando que éste término proporciona confusión para los términos de calidad de sitio y productividad.

Además establecen que la calidad de sitio no es un término vago, ya que éste proporciona una relación existente entre la altura dominante con la edad de una especie determinada que se encuentra presente en una localidad. Debido a que la productividad es parcial y presenta cambios a través del tiempo, ocasionado por los cambios climáticos, así como factores bióticos (competencia de la vegetación, pérdida y/o ganancia de minerales, entre otros. Menciona a su vez que al no ser posible determinar la productividad de un sitio, se ha tenido que recurrir a la necesidad de medir y estimar la calidad de sitio en una forma numérica, empleando índices o indicadores que expresen el estado de la productividad.

Aguilar, *et al.* (1991) Menciona que la calidad de sitio es la capacidad productiva del suelo en relación a una determinada especie, o simplemente una expresión productiva del mismo.

Spurr *et al.* (1992) definen la calidad de sitio como la suma de los factores que afectan la capacidad productiva del bosque, tipo de vegetación y factores que intervienen, tales como edáficos, biológicos y climáticos.

Narváez, *et al.* (1992) define la productividad del terreno como la calidad de sitio en la que se obtiene la máxima cosecha de madera que se produce en un bosque en un tiempo determinado.

2.3.3 Clasificación de la calidad de sitio

La calidad de sitio la clasifican algunos autores en dos formas: 1. métodos directos y 2. métodos indirectos. La aplicación de algunos de estos dos métodos está en función de los resultados a obtener y al costo, así como los costos y tiempo de ocurrencia.

Los métodos directos se fundamentan en la capacidad de variable dendrométrica y epidométrica para definir la productividad de una población o como la relación existente en éstas mismas variables.

La calidad de sitio determinada por métodos indirectos es definida por aquellas variables o características que se encuentran en el sitio o en el medio que lo rodea, en el que se encuentran el suelo, vegetación presente y clima principalmente.

2.3.4 Métodos para estimar calidad de sitio

Es uno de los métodos directos para estimar la calidad de sitio es el índice de sitio, estando definido por la relación existente entre altura dominante - edad, y se emplean curvas anámorficas o polimorficas.

Zepeda, *et al.* 1984 menciona que Durr describe los factores que determinan la calidad de un insumo con su productividad, capacidad y eficiencia, es por la ecuación $P = C \times E$, entonces es claro que la extensión de la calidad de sitio está determinada por la productividad del lugar, misma que a su vez es producto de la suma de las productividades de los factores de producción que interactúan en un sitio.

De una forma estricta no es posible determinar la productividad de un árbol, de un rodal, o mucho menos de un sitio, ya que resulta imposible el conocer realmente la capacidad y eficiencia de cada uno de los factores de producción presentes en un sitio y el tipo de interacciones existentes entre ellos.

Además mencionan que la productividad de un sitio forestal es la capacidad y el grado de producción por unidad de trabajo, superficie de tierra cultivada, unidad de tiempo u otro insumo o factor de producción

Sobre este mismo término Duerr en 1960 establece que la productividad de un insumo o factor de producción es la cantidad de otros factores con lo que éste es capaz de trabajar (capacidad), sin sobrepasar el punto de la mejor combinación, multiplicada por la cantidad del producto que el puede obtener (eficiencia) a partir de cada unidad de todos los factores involucrados. Es decir:

$$P = C \cdot E$$

$$C = P/E$$

$$E = P/C$$

La capacidad se establece como la cantidad de insumos variables de producción con los que pueden combinarse eficientemente un insumo fijo, expresado por la cantidad de tales insumos variables, con los que el insumo puede combinarse eficientemente (Zepeda, *et al.* 1984).

Durr en ese mismo año (1960) indica que la eficiencia es la medida de la efectividad de operación, efectividad en el uso de los factores (insumos) de producción, comúnmente se expresa como tasa de producto obtenido por unidad.

Zepeda, *et al.* (1984) menciona que teóricamente es posible estimar la productividad de un lugar analizando aquellos factores que intervienen; como los nutrientes del suelo, humedad, regímenes de temperatura, luz disponible, topografía, etc.

La primera curva de índice de sitio fue construida en Alemania en 1842, y posteriormente se realizaron en otros países como Escandinavia por los trabajos de Johnson en 1941 y por Sterre en los Estados Unidos de América ese mismo año. citado por (Aguilar, *et al.* 1991).

2.4 Definición método índice de sitio

Spurr, *et al.* (1982) definen el método de índice de sitio considera la altura que alcanza un individuo mediante las condiciones del propio bosque en un tiempo dado. Para determinar este método es necesario establecer la curva de crecimiento en función de la edad.

Zepeda, *et al.* (1984) menciona que el método de índice de sitio es un procedimiento mediante el cual se estima la calidad de sitio de rodales coetáneos, en base a las relaciones altura dominante - edad. A su vez menciona que la curva guía es la tendencia que indica el comportamiento del crecimiento en altura dominante de varias masas coetáneas y representa un patrón de crecimiento en altura dominante que se supone sigue en promedio un conjunto de rodales.

2.4.1 Métodos para estimar índice de sitio

Clutter, *et al.* (1982) utilizan una clasificación la que establecen una relación histórica entre especies, vegetación del sotobosque y la evaluación de los factores edáficos, climáticos y topográficos.

2.4.2 Métodos indirectos

La clasificación de los métodos indirectos por (Spurr, *et al.* 1982) es la siguiente:

1. Vegetación del bosque

1.1 Índice de sitio

1.2 Vegetación plantas indicadoras

1.3 Vegetación en sotobosque y masa arbórea

2. Factores del medio ambiente físico

2.1 Clima

2.2 Suelo

3. Factores múltiple o combinados, utilizados de manera

individual conjuntamente, uno o todos los factores con el uso de la tierra forestal.

2.4.3 Factores cualitativos

En sí los factores que intervienen para establecer la productividad de un rodal, depende de la fisiología de cada individuo ya que son respuestas de las características genéticas, factores de sitio, que consideran todos aquellos factores que se encuentran en el mismo, y en la que se presentan; suelo, vegetación, minerales, exposición, pendiente, factores del ambiente en los que se consideran temperatura, luz, precipitación.

2.4.3.1 Suelo

Una de las maneras de considerar la productividad de un sitio es por medio del perfil del suelo, el que se origina a partir de una roca o material parental formado por las alteraciones de uno o varios fenómenos de interperismo. El perfil presenta tres tipos los cuales son perfil pedológico, perfil edáfico y perfil geológico, estos son diferenciados de acuerdo a sus propiedades en las que se encuentran profundidad, color, textura, estructura, permeabilidad, drenaje, porosidad, porcentaje de materia orgánica, moteado, capacidad de intercambio catiónico y consistencia.

Davis (1966) establece que la calidad de sitio depende de las características de la estructura y textura del suelo, y menciona que deben ser consideradas las características ecológicas importantes del suelo. Lutz y Chandler en 1946 aplican un método de campo útil y práctico para clasificación de suelo en base a su productividad, además producen un manual de procedimientos de campo para clasificar índices de sitio de pinares localizadas en el sur de Arkansas y norte de Lousiana por Zanhner (1957).

En la clasificación para determinar la productividad del suelo por Lutz y Chandler se incluyen las características.

1. Relativamente permanentes
 - a) Espesor y textura del horizonte A
 - b) Espesor, *textura*, *estructura* y *consistencia* del horizonte B
 - c) *Textura* y *estructura* del horizonte C
 - d) *Naturaleza del estrato bajo y falso con respecto a la permeabilidad del agua y raíz*
 - e) *Naturaleza del material madre con respecto al contenido de calcio (calcárea y no calcárea)*

- f) Posición de tablas de agua
- g) Contenido de rocas en el suelo
- h) Inclinación (grado y posición topográfica) y aspecto

2. Frecuentemente parcial durante tiempos relativamente cortos de tiempo.

- a) Tipo de capa de humus
- b) Contenido de nitrógeno de la capa superficial del suelo
- c) Estructura de la capa superficial del suelo.

De las formas antes mencionadas es posible establecer la calidad de sitio, promedio de las propiedades del suelo. Otras características pueden proporcionar información indirecta de los indicadores de vegetación, factores bióticos, climáticos y topográficos. Algunas especies pueden presentar diferentes comportamientos en un mismo tipo de suelo, siendo para algunas de ellas, mayores requerimientos de elementos que conforman el suelo. Así mismo una misma especie en sus distintas etapas de desarrollo presentan diferentes necesidades de los componentes del suelo.

Daniel *et al.* (1982) menciona que White establece que los factores que intervienen favorablemente en la disposición de agua en los períodos de sequía. Además menciona a Steinbrenner que en 1960 al oeste de Washington y Oregon Estados Unidos de Norteamérica desarrollo un modelo para determinar la calidad de sitio, en el que consideró como un factor principal al suelo además correlacionó la calidad de sitio con los relieves, lo que le facilito establecer calidades de sitio por medio de fotografías aéreas, menciona que la correlación existente entre el índice edáfico del sitio y el índice de sitio facilitan la rapidez de establecer las calidades mediante cartografía.

Barnes *et al.* (1982) menciona que realizaron una clasificación ecológica del sitio para aplicar un manejo de uso múltiple para cierta localidad. En el que se

consideraron las interacciones de vegetación con fisiografía y vegetación con suelo, siendo éstas útiles para establecer criterios para los ecosistemas locales. Otras de las variables que se consideraron del suelo fueron el pH, que presenta influencia directa en la composición de las plantas y animales, así como su tamaño y productividad.

La estimación de la productividad de terrenos forestales en base a índice o valores de calidad son de importancia para establecer un programa de manejo forestal donde se consideran selección de la especie, reforestación, valoración del monte, formulación de tablas de volumen, intensidad de corta, usos comerciales más apropiados, y predicción de crecimiento (Narváez, *et al.* 1992).

El mismo autor realizó un trabajo en el Campo Experimental Madera Chihuahua, en el que establece las características del suelo para obtener calidad de estación de *Pinus durangensis*. Para determinar el índice de sitio para *Pinus durangensis* se empleó el modelo recíprocal de crecimiento bajo la función altura total - edad.

$$\ln h = a_0 + a_1 (1/t^{0.01})$$

Las curvas desarrolladas por González las clasifiqué en tres calidades:

Calidades	Alturas
Calidad Buena :	Altura mayor de 20.45 m.
Calidad Regular:	Altura entre 17.45 a 20.45 m.
Calidad mala:	Altura menores de 17.45 m.

Este mismo autor concluye que las características (edáficas y topográficas) se relacionan con la aereación, humedad y fertilidad del suelo.

2.4.3.2 Vegetación

Vegetación menor: Es la presencia de una o varias especies que se encuentran en una superficie determinada. Dentro de los países que han empleado este método se ubican Escandinavia y Canadá, donde la vegetación menor presenta algunas especies indicadoras de la calidad de sitio. Esto no es favorable en áreas que tienen una gran abundancia y diversidad de especies, así como disturbios, (Davis, 1966).

Spurr *et al.* (1982) establece indicadores de la calidad de un sitios mediante la presencia, abundancia y tamaño relativo de las especies presentes en el bosque. Así mismo se concluye que una planta indicadora es aquella utilizada para determinar la calidad de sitio en la que se encuentra la vegetación menor (sotobosque). De lo anterior se menciona que una de las ventajas para determinar la calidad de sitio por la presencia de ciertas especies vegetales indicadoras, es la facilidad, la rapidez y la economía al realizarlo.

El mismo autor indica que las especies arbóreas son útiles indicadoras, ya que presentan una vida prolongada y no se ven afectadas por la densidad por lo que es posible encontrarlas en cualquier época del año. En cambio para especies que conforman el sotobosque se ven afectadas por la densidad, composición, mayor que las especies arbóreas, por lo que existe una tolerancia ecológica más restringida y pueden ser considerados indicadores vegetales.

Para la determinación de la calidad de sitio mediante la presencia de ciertas especies vegetales aún no existen estudios referentes a este ámbito en México, pero es conocida que la presencia de algunas especies vegetales nos pueden

brindar información referente a las condiciones del lugar en el que se puede establecer la calidad de sitio.

Menciona algunas especies vegetales como indicadores de la calidad del suelo, tales como *Lupinus*, *Crataegus* que se establecen en lugares con buena calidad, para calidades pobres encontramos *Aristida* y áreas con disturbio *Acacia pennatulata*, *Verbesina* spp. Por consecuencia para este método es necesario el contar con un inventario florístico, pero en la actualidad en México existen gran cantidad de localidades sin estudios referentes a este tema.

Daniel *et al.* (1982) menciona que el primero en establecer la calidad de sitio mediante la relación entre cubierta vegetal y productividad de un sitio fue Cajander en Finlandia (1909). Su observación se basó en establecer la presencia de ciertas especies clímax en el estrato inferior, consideradas indicadores de la calidad de estación, mediante la presencia, abundancia y asociación con determinada calidad de estación.

Harold y Hocker en 1984 establecen que para la clasificación de la calidad de un sitio mediante la vegetación menor o especies indicadoras en el que caracterizan las localidades con diferente productividad y que está clasificación se basa en la frecuencia y abundancia de especies claves o de grupos de especies en el sotobosque. Las plantas dominantes en una localidad crean una situación ecológica particular (Arellano *et al.* 1990).

Arellano, en ese mismo año en el estado de Jalisco realizaron estudios referentes a establecer mediante la vegetación la calidad de sitio, con lo que realizaron un índice de vegetación en Tapalpa, ésta área presentaba una extensión de 825 hectáreas en las cuales ya existían las calidades de sitio desarrolladas por Benavides, clasificándolas como, él las clasifico de la siguiente manera calidad 1 altura de arbolado mayor a los 28.89 m, calidad 2

de altura del arbolado entre los 22.89 m a 28.89 m, y la calidad 3 alturas no mayores de 22.89 m.

Las variables consideradas fueron altitud, exposición, pendiente y erosión, aplicando modelos estadísticos no paramétricos, utilizando el coeficiente de correlación de rango de Kendall con la metodología de Siegel. La metodología consiste en que las variables son medidas en dos series de ordenadas las que son para X y Y, por lo que se tendrá un grado de asociación denominado r, al que se le conoce como coeficiente de correlación del rango de Kendall (r), y en el que uno de los procedimientos en las que se aplicó la siguiente ecuación.

$$N = \frac{S}{\frac{1}{2} N(N-1) - TX - \frac{1}{2} N(N-1) - TY}$$

Del trabajo se encontraron 15 especies herbáceas, 7 arbustivas, siendo la familia representante *Compositae*, representada por los géneros *Senecio salignus* D. C., *Rhamnus hintonnii* M. C. y L. A. Johnston y *Verbesina Sphaerocephala* var. *sphaerocephala* y *Baccharis thesioides* y los géneros *Eupatorium*, *Piqueria* y *Salvia* presentaron dos especies cada una y las demás con una.

Las plantas herbáceas encontradas en la mayoría de los sitios son *Festuca brevigluminis* Swallen, *Artemisia mexicana* Will, *Stevia ovata* Wild y *Eupatorium* sp. Las especies encontradas en espacios abiertos no sombreados son *Artemisia mexicana* Will y *Eupatorium* sp. Las que se localizaron en espacios abiertos como sombreados *Stevia ovata* Will, para lugares húmedos como en las cercanías a arroyos *Eryngium monocephalum* Cav y *Cirsium pinetorum* Greenm, en lugares erosionados, *Festuca brevigluminis* Swallen presentan una amplia distribución, pero no se localizó en lugares erosionados y crece principalmente a la sombra de los árboles.

2.4.3.3 Clima

El clima interviene grandemente en la producción forestal y un estudio de éste tipo lo realizó (Klepac 1976), en el que determinó la productividad por medio del incremento medio anual total por hectárea a un período de 100 años. Dentro del trabajo se consideró la temperatura, humedad, época del período de crecimiento e intensidad de la radiación.

2.4.4 Factores cuantitativos

Los factores cuantitativos es otra forma que algunos autores emplean para determinar la calidad de sitio, en el que intervienen las variables cuantificables de los incrementos del arbolado.

2.4.5 Determinación de la productividad a través de análisis epidométricos

Groothouse, (1983) realizó curvas de índice de sitio para *Pinus oocarpa* Schiede en Honduras, Centro América. El empleo dos modelos diferentes, la fórmula de Husch y la Fórmula Española en las que se muestra su ecuación:

$$\text{Fórmula de Husch } Lh = a_0 + a_1 (1 / t)$$

$$\text{Fórmula Española } h = (t / a_0 + a_1 t)$$

De estos dos modelos se obtuvieron r^2 para la fórmula española 94.31 y un r^2 79.81 para la fórmula de Husch, se establece que la fórmula española es más difícil su cálculo que la fórmula de Husch.

Los resultados para las cinco calidades de sitio de *Pinus oocarpa* Schiede en Honduras son las siguientes:

Indice de sitio	Años
I	24.8
II	21.6
III	18.4
IV	15.2
V	12.0

Además menciona que la mayoría de parcelas utilizadas para el estudio pertenecen principalmente a las calidades I y II, e indica que debe tenerse cuidado en la aplicación de estos resultados al raleo de otras masas de *Pinus oocarpa*.

En Tapalpa, Jal. Benavides en (1987) mediante el análisis troncal de *Pinus michoacana* y *P. oocarpa* del ADF Tapalpa, ajusto curvas de índice de sitio mediante la metodología de Alder (1980) al emplear el modelo de Schumacher $\ln h = a_0 + a_1 (1 / tk)$. Para el desarrollo de las curvas de crecimiento se realizaron análisis troncales y se considero una muestra de 27 árboles de *Pinus michoacana* y de *Pinus oocarpa* Schiede.

Pinus michoacana presentó una altura máxima de 19.09 m y mínima de 8.95 m con una diferencia de 10.14 m. Para emplear el modelo de Schumacher fue necesario obtener un valor de k con 0.33 para un mejor ajuste y el cual presento un r^2 87.63, un r 93.61, siendo considerada una edad base de 45 años con una altura de 25.89 m y por consecuencia se eligieron 3 calidades para la curva promedio de 25.89 m. Las tres calidades fueron excelente de 31.89 m, buena de 25.89 y regular de 19.89 m.

Para *Pinus oocarpa* el valor de k con 0.19 y al aplicar el modelo de Schumacher se obtuvo una r^2 91.17, teniendo como edad base 45 años. Con este modelo se establecieron tres calidades las cuales fueron como excelente de 21.06 m, buena de 17.56 m y regular de 14.06 m.

Arteaga en 1988 menciona que Castaños utilizó la siguiente metodología para determinar la calidad de sitio para *Pinus patula* Schl et Cham y *P. patula* en el norte de Oaxaca. En éstas se considera la altura media de los árboles dominantes y codominantes a los 100 años de edad y el diámetro a 1.30 m.

De los resultados de las variables empleadas; la pendiente del terreno presenta un efecto lineal positivo 25 %, a medida que éste presenta un efecto curvilíneo negativo del crecimiento en altura. Además, realiza una comparación de éstas misma variable con Vela (1976) que menciona que influye en ciertas especies y su desarrollo. A su vez establece que en masas puras y coetáneas se localizan en terrenos con pendiente moderadas o plana. Se señala que el óptimo desarrollo se establece en pendientes entre 5 y 15 %.

De los resultados obtenidos por Arteaga en los análisis de correlación de modelos múltiples, establece que los mejores resultados para la productividad de *Pinus patula* son las características fisiográficas y no las climáticas, aereación del suelo y la tasa de descomposición de materia orgánica. Estos factores favorecen el almacenamiento de agua que aprovecha el arbolado, y los factores reguladores del flujo interno de agua en el suelo.

Aguilar *et al.* (1991) emplearon 5176 datos de edad y altura para *Pinus lawsonii* 135, *P. leiophylla* con 1159 datos, *P. montezumae* (428 datos), *P. michoacana* (456 datos), *P. pseudostrobus* (2989 datos). Se empleo el modelo $h = t/a_0 + a_1 * t$, se concluye que para las calidades de estación buena en las etapas iniciales presentan alturas muy altas en comparación a calidades bajas, esto es para las

cuatro especies. De lo anterior se sugiere que para cada especie se presente una metodología propia, así como un tamaño de muestra.

Otra referencia es la de Valles, *et al.* (1995) en la que evaluaron sitios permanentes de investigación forestal (SPEF) en el Cielito Azul del INIFAP, localizado en San Miguel de Las Cruces, Durango, para establecer el índice de sitio para *Pinus cooperi*. La muestra se obtuvo para cada parcela 8 árboles dominantes y sanos a los que se le aplicaron tres modelos diferentes para determinar el índice de sitio.

El mejor modelo fue el de Chapman - Richards el que presentó un r^2 0.98, y de él se evaluaron las formas anamórfico "a₁ constante", polimórfico "a₂ constante" y polimórfico 2 "a₃ constante sometiénolas a pruebas de validación".

Quiñones, *et al.* (1995) establecieron la calidad de sitio para *Pinus cooperi* en San Miguel de Cruces, Durango. Los modelos utilizados fueron Schumacher, Chapman - Richards y acumulativo de Weibull con lo que se determinó la bondad de ajuste de la relación edad - altura. Los índices de sitio fueron para 11 m, 14 m, 17 m, 19.68 m, 23 m y 29 m, con una edad base de 60 años a cada uno de ellos se le determinó su incremento corriente en altura.

De los tres modelos el de Chapman - Richards y Weibull presentaron valores estadísticos similares, en cambio el de Schumacher presentó la suma de cuadrados del error, cuadrados medios del error menores y mayor valor del r^2 y F, y el c.v. bajo. Por consecuencia se presenta el modelo de Schumacher por presentar mejor ajuste y para la calificación de índice de sitio fue la siguiente ecuación:

$$h = a_0 * e^{(a_1 * (1/t)^t)}$$

2.4.6 Aplicación de modelos matemáticos

2.4.6.1 Modelo de Weibull

Aguilar (1988) menciona que Cao en 1986 derivó los parámetros de la distribución diamétrica de Weibull para aplicar los modelos de Coile y Schumacher en rodales regulares e irregulares.

En México sobre referencias del modelo de Weibull existen algunas referencias, entre las que encontramos a en el que se aplicó el modelo de Weibull modificado con una función no lineal para estudiar el crecimiento a una serie de relaciones alométricas.

Ek y Monserud (1974) citado por Aguilar, (1991) mencionan que la función Weibull presenta una variedad de formas como la función de densidad beta, sin embargo matemáticamente la función Weibull es más adaptable que la distribución beta debido a las características diamétricas de los bosques.

Se han realizado modificaciones al modelo de Weibull con una función no lineal en la que se emplea para el ajuste de curvas de crecimiento biológico; para determinar crecimiento y rendimiento de árboles y masas forestales.

A su vez se han desarrollado procedimientos para calcular los parámetros de la función de Weibull como lo realizó Burk y Burkhart (1974) en el que emplearon técnicas de Lenhart (1984) citado por Ramírez, (1991). El empleo de esta función es predecir la estructura del rodal, para cada clase diamétrica estableciendo su número de árboles, árboles totales, el volumen por acre para cada clase diamétrica en plantaciones de *Pinus Slash* y *P. taeda* en el este de Texas. Además menciona a Guldin (1986) establece que en base al área de copa determina la estructura de un rodal citado por el mismo autor y compara

la exponencial negativa y el modelo de Weibull para *Pinus taeda*, *P. echinata* Mill en tres rodales irregulares en Arkansas.

2.4.6.2 Modelo de Schumacher

En México su aplicación se ha empleado para determinar el crecimiento, así como la calidad de estación, tarifas de volumen tal es el caso de Aguilar (1982, 1983 y 1984) y Benavidez, (1987) (Aguilar, 1991).

En 1960 Schumacher y Cole citado por Aguilar, (1991) presentaron un trabajo sobre crecimiento y rendimiento en rodales naturales; Alder realizó un estudio sobre el crecimiento y predicción de rendimiento con diversos métodos, al mostrar el modelo de Schumacher con un parámetro (k) no lineal y en una forma múltiple.

También Nix y colaboradores emplearon esta función para plantaciones de *Pinus loblolly* para el cálculo de volúmenes de pulpa de madera en estudios de crecimiento y rendimiento (Aguilar, 1991).

Farrar y Murphy (1986) citado por Aguilar, (1991) en rodales de segundo crecimiento de *Pinus loblolly* emplearon la función de Schumacher modificada, con la finalidad de predecir el volumen del rodal en el que se comparó la distribución diamétrica bajo dos procedimientos al utilizar el modelo de Weibull, Coile y Schumacher.

$$\ln h = a_1 + \ln h_{\max} + a_1/t$$

2.4.6.3 Modelo de Gompertz

Franco (1970) empleó este modelo para un estudio de simulación demográfica y productividad de poblaciones uniespecíficas de árboles, empleando para el

ajuste una serie de relaciones alométricas de crecimiento e incremento (Aguilar, 1991).

Además se menciona que Mayard (1974) citado por Ramírez, (1991) realizó varias consideraciones para emplear modelos en ecología, de los cuales se encuentran el modelo de crecimiento de Gompertz, además menciona a France y Thornley en que mediante una serie de derivaciones crearon modelos matemáticos para emplearse en agricultura, además del modelo de Gompertz.

2.4.6.4 Modelo logístico

Franco (1970) lo aplicó para el crecimiento de árboles Del Amo y De Pascual (1986) por otra parte éste método es empleado para determinar la edad en árboles tropicales citado por Aguilar, (1991).

Krebs, (1985) quién es citado por Aguilar, (1991) establece que para ajustar una curva sigmoide es aplicar una ecuación geométrica para que el incremento presente una disminución conforme aumenta la población, está debe de ser una *forma uniforme*; se establece que por cada individuo agregado a la población provoca un descenso de forma equilibrada.

Se menciona que France y Thorndey de su hipótesis que el crecimiento logístico es específico de las siguientes condiciones: peso seco y cantidad de sustratos.

Modelo logístico.

$$\frac{dN}{dt} = r \ln c N \frac{(k - N)}{kma}$$

Ísiendo el significado de las ecuaciones como índice de incremento de la población por unidad de tiempo, índice de crecimiento de la población por

individuo, x Tamaño de la población, x Oportunidad no utilizada de crecimiento de la población.

Aguilar, (1991) aplicó cuatro modelos matemáticos para determinar el crecimiento forestal para *Pinus douglasiana* en Atenquique, Jalisco. Con empleo de las variables base - edad - altura, los modelos empleados fueron Weibull, Schumacher, Gompertz y logístico. Para cada uno de los modelos se obtuvieron los parámetros de la ecuación como son coeficientes de regresión (r), coeficientes de determinación (r^2), análisis de varianza y f calculada y residuales.

Obteniéndose tres calidades de sitio:

Calidad I	70 arboles, 62 años y alturas de 35.7 m.
Calidad II	61 arboles, 100 años y alturas de 30.7 m.
Calidad III	55 arboles, 90 años y alturas de 26 m.

2.5 VOLUMEN

2.5.1 Determinación de volumen

Bruce *et al.* (1965) menciona que existen tres unidades para determinar el volumen de árboles y troncos, los cuales son: en pie cuadrado de tabla, pie cúbico y cuerda de leña. El pie cuadrado de tabla no es una unidad de medida cuando se trata de material bruto, sino una unidad de cálculo que es una medida directa. La cuerda de leña es empleado para cierto número limitado de materiales. Como parte fundamental el volumen real de madera debe ser considerado como una unidad natural mediante el pie cúbico.

El método más preciso para determinar el volumen de cualquier sólido de forma irregular es el xilómetro que está fundamentado en el desplazamiento de agua causado por un cuerpo al introducirlo en un tanque.

Existen varios procedimientos para determinar el volumen calculado mediante mediciones de longitud y diámetro. Como es el caso de tratar de calcular el volumen de sólidos geométricos regulares.

Hush *et al.* (1982) señala que es conveniente considerar el árbol como ésta constituido de sus cuatro partes raíz, tocón, tronco y copa.

Jiménez (1988) menciona que Kramer *et al.* (1987) establecen que la forma del árbol se describe por el perfil del fuste, el cual presenta una curva del arbolado adulto que a partir del suelo hasta 1/10 del largo es convexa y de esta a la copa es cóncava y su última parte es una forma lineal. Por esta situación la base del árbol presenta una forma neloide truncado, la parte media del árbol es una parábola cúbica y cuadrática truncada, y la parte superior es una parábola cuadrática y de cono.

La determinación volumétrica de un fuste mediante el empleo de fórmulas de cuerpos geométricos son laboriosos, debido a que la variación de éste se encuentra para cada especie, posición sociológica, tratamiento silvícola y características de sitio. Por consiguiente es más rápido y factible la cubicación seccional para determinar el volumen de un árbol o rodal. Para esta condición se emplean las fórmulas de Huber, Smalian y Newton.

2.5.1.1 Métodos indirectos y métodos directos

La determinación de volumen se puede realizar mediante dos procedimientos, métodos indirectos y métodos directos, siendo su complejidad el método

estadístico en donde se emplean como variable dependiente volumen y como variable independiente el diámetro, altura y ocasionalmente otra medida (Spurr *et al.* 1952).

Rodríguez, *et al.* 1982 menciona que el volumen se relaciona directamente con el diámetro y altura por medio de gráfica, cartas de alineamiento o ecuaciones y que el procedimiento actual en la construcción de tablas de volumen es el método directo. Es posible relacionar el diámetro y la altura del árbol a una medida indirecta del volumen, tal como el factor de forma.

2.5.1.2 Métodos indirectos

Los métodos indirectos corresponden aquellos en donde no es necesario el derribo del arbolado y sus mediciones se realizan mediante el telerrelascopio de Bitterlich, siendo éste más práctico y fácil de obtener mediciones de diámetros y alturas del arbolado.

2.5.2.2 Métodos directos

Los métodos directos para determinar el volumen del arbolado son aquellos en que es necesario el derribo del arbolado para realizar las mediciones del arbolado. Debido a que el arbolado no presenta una forma cilíndrica en realidad es necesario recurrir a diferentes fórmulas en cada una de sus partes para obtener el volumen de las diferentes partes del arbolado.

Por lo antes mencionado, al perfil del arbolado es necesario aplicarle diferentes fórmulas para la determinación del volumen mediante mediciones seccionales o trozas por los siguientes procedimientos:

Fórmula de Huber: empleada para determinar el volumen medio

$$v = g * l$$

Fórmula de Smalian

$$v = \frac{g_1 + g_2}{2} * l$$

Fórmula de Newton

$$v = \frac{g_1 + 4 g_m + g_2}{6} * l$$

Jiménez (1988) menciona que la fórmula de Huber es adecuada para el cálculo del volumen de un cilindro y una parábola. Ya que para el cono y neloide presenta errores negativos de un 25% al 50%. Mediante la aplicación de la fórmula de Smalian para el cono y neloide se obtienen errores, pero para la forma cónica y paraboloides resulta satisfactoria.

2.6 Definición de tabla de volumen

Jiménez (1988) menciona que una tabla de volumen es una tabulación en la que sus variables de importancia corresponden al diámetro (1.30 m) y la altura total para obtener el volumen de un árbol. Estas tablas están fundamentadas en el principio de que individuos de una misma especie presentan un volumen promedio, cuando el diámetro y altura son idénticos y se desarrollan en una misma condición ecológica.

La FAO menciona (1980) que la tabla de volumen es como una tarifa, fórmula o gráfica donde establecen el volumen de un árbol o un conjunto de árboles.

Otra definición es la que realizó Grunder - Schwappach en 1952 en la que describen como una tabla de volumen como un cuadro sinóptico tabular en el

que se establece el volumen del árbol mediante la utilización de una o más variables.

Establece que el volumen estimado de un árbol mediante la función altura y el diámetro, estableciéndose una serie de combinaciones de parámetros básicos para la construcción de tablas de volumen para sus diferentes usos como son volumen comercial, aprovechable, total, entre otros (Jiménez, 1988).

Husch en 1963 establece que la tabla de volumen es una expresión tabulada de volúmenes de árboles de acuerdo a una o más dimensiones de ellos. Y este volumen se puede expresar como pie cúbico, pies tablas metros cúbicos o cuerdas, esta tabla expresa el contenido medio de árboles en pie de diversos tamaños y especies (Rodríguez *et al.* 1982).

2.6.1 Tipos de tablas de volumen

Husch en (1982) por su parte clasifica las tablas de volumen de la siguiente forma:

Tablas de volumen locales: En el que el diámetro se utiliza para determinar el volumen y se emplean en pequeña regiones en donde el diámetro y altura se encuentran estrechamente relacionados.

Tablas de volumen estándar: El diámetro y altura se emplean para determinar el volumen y se utilizan en superficies grandes.

Tablas de volumen coeficiente mórfico: El volumen del arbolado está estrechamente relacionado a las variables diámetro, altura y coeficiente mórfico.

Las primeras variables asociadas con el volumen es el diámetro a 1.3 (d), altura de árbol (h) y quizá la forma del árbol (Avery *et al.* 1994).

Las tablas de volumen estándar están basadas sobre variables aisladas como el diámetro y son comúnmente referidas a tablas de volumen local, éstas requieren el uso de emplear también alturas de árboles y posiblemente la forma del árbol.

2.6.2 Empleo de tablas de volumen

En 1965 el Instituto Forestal de Chile realizó tablas de volúmenes con la finalidad de determinar volúmenes cúbicos aserrables y de madera para pulpa de árboles en pie, los volúmenes fueron calculados para diámetros mínimos (10, 15 20 y 25 cm). El volumen de árboles individuales se expreso mediante la variable independiente diámetro normal, la altura total y la clase de forma de Girard. El sistema empleado para volúmenes cúbicos y de madera para pulpa fueron calculados en m³ y pies cúbicos. Las tablas fueron elaboradas a partir de 616 árboles (Rodríguez *et al.* 1982).

Gaillard en 1984 empleo fórmulas para estimar el volumen comercial de árboles en dependencia del diámetro y la altura total en cuatro especies de bosque Chaqueño seco. La información de las cuatro especies para los volúmenes comerciales (hasta 7 cm de diámetro) incluyendo la corteza con 126 árboles apeados de quebracho colorado santiagueño (*Schinopsis quebracho colorado*), 120 quebracho blanco (*Aspidosperma quebracho blanco*), 58 de algarrobo negro (*Prosopis nigra*) y 49 de mistol (*Zyzyphus mistol*). A pesar del número reducido de especies se basa en lo mencionado por Loetsch *et al.* 1973 en el que aconseja entre 50 y 100 árboles para construcción de una tabla de cubicación de aplicación local y varios cientos para el área de aplicación sea mayor. En el trabajo se probaron dos modelos que son los siguientes.

1. Logarítmico de variable combinada

$$\ln(vce) = \alpha_0 + \alpha_1 \times \ln(d^2 \times h_t)$$

$$\text{por lo que } vce = \exp(\alpha_0 + \alpha_1 \times \ln(d^2 \times h_t))$$

2. Australiano

$$vce = \alpha_0 + \alpha_1 \times d^2 + c \times d^2 \times h_t \times d \times h_t$$

Martínez *et al.* (1992) elaboraron tablas de volumen a partir de árboles apeados con una muestra de 25,000 de un proyecto de ordenación de España.

De los que se consideraron así como la muestra para cada una de ellas son *Pinus silvestris* con 8136 árboles, *Pinus pinea* con 1668, *Pinus uncinata* con 416, *Pinus halepensis* con 1629, *Pinus laricio* con 1383, *Pinus pinaster* con 5423 y *Pinus pinaster* (res) con 1687; otra que fue considerada fue *Fagus sylvatica* y *Abies alba* con 1582, *Quercus robur* y *Quercus petraea* con 237. Todas las especies antes mencionadas se encuentran distribuidas en una gran cantidad de provincias.

En España existen tablas de cubicación que se emplean en los proyectos de ordenación y otros tipos de inventarios, de estos se emplean las variables clásicas diámetro normal con corteza (d) y la altura total y existe otra tercera variable de la forma del árbol que en ecuaciones de cubicación reduce de modo significativo cometidos de estimaciones.

De estas variables diámetro normal, altura total y diámetro a cuatro metros sobre el tocón, por lo que se emplearon los parámetros siguientes d, h, hf, d₂, d₃, d₄, d₅, d₆ y d₇. En esta fase se escogieron las variables d, h, hf, d², d₂², d₃², d₄², d₅², d₆², d₇² con las siguientes combinaciones d²h, d₂²h, d₃²h, d₄²h, d₅²h, d₆²h y d₇²h y de estas se planteó de una forma lineal de forma general.

$$v = \alpha_0 + \alpha_1 x_1 + \alpha_2 x_2 + E$$

La variable mayor aceptada fue $d_4^2 h$ que se presentó para cinco especies de pino con un r^2 de 96.44 a 88.24, las variables $d^2 h$ y $d_2^2 h$ se presentaron dos veces y la d_6^2 una vez. En segundo lugar se seleccionó la variable hf cuatro veces, la $d^2 h$ tres y la $d_4^2 h$, $d_2^2 h$ y d^2 una vez y la combinación $d^2 h - d_4^2 h$ se seleccionó tres ocasiones.

De acuerdo a los resultados se considero para todas las especies el modelo lineal.

$$v = \alpha_0 + \alpha_1 d^2 h + \alpha_2 d_4^2 h$$

y el modelo de tablas clásicas de dos entradas

$$v = m + n d^2 h$$

De los resultados obtenidos r^2 del modelo de dos entradas presentan valores menores de 97. correspondientes a las especies de frondosas (haya y roble), y a los piñoneros y carrasco que son los más ramosos entre las coníferas.

El modelo empleado para el volumen del fuste aprovechable con corteza es el siguiente:

$$v = \alpha_0 + \alpha_1 d^2 h + \alpha_2 d_4^2 h$$

Se considera volumen aprovechable hasta un mínimo de 7.5 cm con corteza y no siempre se pudo considerar para todas las especies.

Para selección de la muestra de árboles en pie se consideró para cada tarifa cuente con un número aproximado de 60 árboles de los cuales se considero el diámetro a 1.30 m, altura total tomando con hipsómetro desde la base del fuste al ápice del árbol, estimando como mínimo el medio metro, diámetro a cuatro metros se midió con una forcipula filandesa acoplada a una pértiga o con pentaprisma.

La ecuación general de las tres entradas es la siguiente:

$$v = F (d, h, d_4)$$

Posteriormente se calculo la regresión de tarifas para cada una de las unidades inventariadas definidas $v = G (d)$ con el que se obtiene el valor aprovechable con corteza en función del diámetro normal. Por lo que los modelos matemáticos que se recomiendan para la tarifa de ordenación puede ser del tipo general.

$$v = a_0 + a_1 d^2$$

$$v = a_0 + a_1 d + a_2 d^2$$

$$v = \alpha_0 d^{a_1}$$

Este último se transforma para el calculo de mínimos cuadrados de los coeficientes de regresión en:

$$\ln v = \ln a_0 + a_1 \ln d$$

Concluyendo que para el calculo de existencias se multiplica el número de pies de cada diámetro por los correspondientes valores unitarios del volumen obteniéndose de las tarifas, y con esto es posible realizar el procedimiento para cada clase diamétrica de 5 cm.

Pece de Ríos (1994) realizó una tabla de volumen comercial para *Eucalyptus pellita* en el que utilizó la metodología de la razón volumétrica, del trabajo se menciona que los datos se obtuvieron de una plantación con espaciamiento de 3 X 1.5 m localizada en el Horto ponte Alta del municipio de Dionisio, Estado de Minas Gerais (Brasil). De la colecta de datos se midieron 107 árboles apeados para realizar una cubicación rigurosa, la toma de datos se realizó la toma de diámetros con y sin corteza a cada metro a partir del diámetro del tocón (30 cm) hasta un diámetro de 4 cm y midieron la longitud hasta el ápice.

Para el cálculo del volumen total se realizó mediante la fórmula de Smalian hasta los 4 cm y posteriormente se aplicó la fórmula de cono a la longitud del ápice. El volumen comercial fue obtenido por la fórmula de Smalian hasta la última troza utilizable para celulosa es de 8 cm mínimo de diámetro sin corteza.

Se consideraron de los árboles seleccionados por clase de diámetro y altura se obtuvo una frecuencia más o menos regular. Para estimar el volumen se empleó el modelo de Schumacher y Hall en su forma logarítmica.

$$\ln v = \ln a_0 + a_1 \ln (d) + a_2 \ln (h) + E$$

Se ajustó el volumen mediante la técnica de mínimos cuadrados lineales, las transformaciones logarítmicas con lo que es posible heterogeneidad de las varianzas de los errores en gran medida disminuida, la transformación puede ocasionar errores sistemáticos los cuales son corregidos multiplicando los volúmenes estimados por el factor de corrección deducido por Meyer, 1938. (Hosokawa y Souza, 1989). El factor de corrección se obtiene de acuerdo a la siguiente fórmula.

$$F_c = \exp (0.5 \times S^2)$$

Para el cálculo del volumen total como comercial no fue considerado el volumen del tocón y la razón volumétrica fue obtenida del cociente entre el volumen comercial con corteza y el volumen total con corteza y los cuales se ajustaron a modelos propuestos por Honer (1967, Burkhart, 1977 y Parresol (Lorhey 1984).

$$Ra = a_0 + a_1 (d_{cel}/d) + a_2 (d_{cel}/d)^2 + E \quad \text{Honer}$$

$$Ra = a_0 + a_1 (d_{cel}/d)^2 + a_2 (d_{cel}/d)^4 + E \quad \text{Honer}$$

$$Ra = 1 + a_0 (d_{cel}^{a_1}) + E \quad \text{Burkhart}$$

$$Ra = \exp (a_0 \times d_{cel}^{a_1} / d^{a_2}) \quad \text{Parresol}$$

Los modelos de Honer son polinomios de 2 y 4 grado, el modelo de Burkhart (1977) fue empleado en plantaciones y rodales naturales de coníferas de *Pinus taeda* el coeficiente a_0 es siempre menor que 0, lo que permite que se cumpla con la restricción de la razón volumétrica (Ra) que siempre sea menor de cero o igual a uno y que tienda aún cuando el diámetro límite superior tienda a cero, se menciona que este modelo es de fácil aplicación y solamente intervienen tres parámetros.

El modelo de Parresol es un modelo exponencial con tres parámetros fácil de estimar y de sencilla aplicación.

La estimación de los parámetros fue obtenida mediante la técnica de mínimos cuadrados lineales y no lineales. Obtenida la ecuación para estimar el volumen total con corteza y para estimar la razón volumétrica con corteza, las estimaciones de volúmenes comerciales para celulosa se obtuvieron mediante el producto de ambas.

Para determinar el mejor modelo fueron considerados r^2 corregidos por los grados de libertad, el análisis gráfico de los residuos, media de las diferencias en valor absoluto existente entre los valores observados y los valores estimados con el modelo, raíz cuadrada del error, medio coeficiente de variabilidad y correlación entre los valores observados y estimados.

El ajuste del modelo de Schumacher y Hall obtuvo buenos resultados con un r^2 99.7 y Sxy 0.01438. Para el ajuste del modelo de la razón volumétrica se utilizó una base de 85 árboles, ya que de los 107 se considero su dap mayores de 8 cm para que tuviera como mínimo una troza de 1 m. Del resultado de los modelos aplicados se obtuvieron los siguientes datos el modelo de Parresol r^2 98.28 y Sxy 0.02478 con un c.v de 2.8 %, el modelo de Burkhardt r^2 98.28 y Sxy 0.02507 y un c.v. 2.8, los modelos de Honer (polinomio de segundo grado) r^2 95.62 con Sxy 0.02452 y c.v. 2.81 (el polinomio de cuarto grado) presento un r^2 95.34 Sxy 0.0253 y un c.v. 2.9. Por lo que se eligió el modelo de Parresol.

Las primeras tablas de volumen fueron construidas por Villas Salas *et al.* 1966. Para el año de 1977 Caballero Deloya utilizó modelos matemáticos propuestos por Spurr, tales como la variable combinada elaboró tabla de volumen (Jiménez, 1988).

En la Península de Yucatán Santos Valdez (1976) elabora tabla volumétrica y posteriormente realiza una publicación para SARH-SFF-DGDF con el propósito de tablas de volumen mediante dos procedimientos:

Empleo del Telerrelascopio de Bitterlich (cubicación seccional del arbolado en pie.

Empleo de cintas diamétricas y forcípulas para cubicación seccional de arbolado derribado.

En la Sierra Madre Occidental Sosa Cedillo en 1976 realizó tarifas de volumen mediante el uso de variables independientes área basal y la altura media con las siguientes ecuaciones:

$$\text{Ln } v_m = a_0 + a_1 * \text{Ln } g_m + \text{Ln } h_m$$

$$v_m = a_0 + a_1 * g_m + a_2 * g_m * h_m + a_3 + h_m^2$$

Rodríguez *et al.* (1982) realiza un estudio en el campo experimental San Juan Tetla de análisis troncales elaborando tablas de volúmenes para *Pinus montezumae*. En este estudio consideró tres altitudes (3000-3100, 3101-3200 y 3201-3300), así mismo como variables de exposición (norte, sur y este) y sobre la pendiente consideró tres formas baja, media y alta.

Aguilar (1994) elaboró una tarifa de volumen para *Pinus pseudostrobus* mediante análisis troncales en Tejupilco, estado de México. Para tal tarifa aplicó la metodología de análisis troncales de Klepac (1976) con modificaciones en lo que respeta a la longitud de la trozas. Para el desarrollo del trabajo se realizaron 11 modelos (Lineal, logarítmico, cuadrático, hiperbólico, raíz cuadrada, hiperbólico raíz cuadrada, exponencial, potencial asintótico, Weibull y Schumacher con ellos se determinó el volumen y presentando el mejor resultado el modelo de Schumacher. La tarifa consistió de una entrada el diámetro (d).

$$\text{Ln } v = a_0 + a_1 1/d^k$$

Jiménez (1988) menciona en su investigación que el inventario forestal para el estado de Nuevo León se divide en cinco grupos de especies y a estas se les aplica el mismo modelo matemático para cálculo del volumen y no se considera el perfil, crecimiento y calidad de sitio para cada una de las especies. El modelo utilizado es:

$$v = e^{a_0 + a_1 \ln d + a_2 \ln h}$$

Las especies que considera en su trabajo son *Pinus pseudostrobus* y *Pinus teocote* con un número de muestras de 563 y 167, estas obtenidas en la Sierra Madre Oriental, donde utilizó 55 modelos.

Navar *et al.* (1995) elaboraron un modelo para determinar volúmenes de *Pinus hartwegii* con una muestra 129 árboles en el municipio de Galeana, N. L.

La ecuación para estimar el volumen:

$$v_m = a_0 d^{a_1} h^{a_2} \left[1 - d_m^{a_3} / db (hh - h / hh - hb)^{a_4} \right]$$

Castellanos, *et al.* (1995) realizaron tablas de volumen para siete especies de pino en la Sierra de Oaxaca. Las especies y el número de árboles empleados son *Pinus patula* (184 árboles), *Pinus pseudostrobus* (94 árboles), *Pinus ayacahuite* (65 árboles), *Pinus oaxacana* (82 árboles), *Pinus douglasiana* (29 árboles), *Pinus leiophylla* (63 árboles) y *Pinus rudis* (22 árboles).

Para realizar las tablas de volumen se probaron los modelos:

Schumacher $v = a_0 d^{a_1} h^{a_2} \quad \ln v = a_0 + a_1 \ln d + a_2 \ln h$

Geométrica de la variable combinada $v = a_0 (d^2 h)^{a_2}$

Variable combinada $v = a_0 + a_1 d^2 h$

Variable combinada generalizada $v = a_0 + a_1 d^2 + a_2 h + a_3 d^2 h$

Actualmente existe por Fallad (1989) una tabla fotogramétrica de volumen para *Pinus* sp en el Campo Experimental Bosque Escuela, Jalisco, y donde incluyen una clasificación florística, densidad, clases de altura y porcentaje como patrón para este ámbito. Para determinar el cálculo de volumen no se obtuvo el

coeficiente de forma, por lo que se procedió a realizar la siguiente ecuación $v = \frac{a_0 + a_1 (d + a_2 * h)}{e}$.

De los resultados obtenidos Fallad menciona que la vegetación la conforman pino-encino con un 30 % de la superficie total, seguida de *Quercus spp* con un 18 %, pastizal inducido 11.7 %, *Pinus spp* 8.7 % y áreas erosionadas con un 7.1 %.

Sobre el aspecto de densidad en el área de estudio es un 26.2, sobre la clase de altura dominante 10.1 a 15 m con un 33.9 %, seguida a la de 0 - 5 m con un 31 % y para la altura de 5.1 - 10 presenta un 29.1 %.

El porcentaje de pendiente en el área se encuentra un 76.9 % para pendientes mayores de del 16% seguida con un 12 % para pendientes entre 0 - 15% y para el 9.5 % del área presentan pendientes entre 6 - 15%.

3. MATERIALES Y METODOS

3.1 Descripción de especies en estudio

Las especies vegetales elegidas dentro del área de estudio fueron: *Quercus resinosa* Liemb (familia Fagaceae) y *Pinus oocarpa* Schiede (familia Pinaceae). Dichas especies de tipo arbóreo son las de mayor dominancia y valor económico para la Sierra La Primavera.

***Pinus oocarpa* Schiede.**

Pinus oocarpa presenta hojas con vainas persistentes de 3 a 5 fascículos, con una longitud de largo y aserradas de 18 a 28 cm. Los conillos son subterminales con pedúnculo largo reflejados o patulosos, encontrándose solos o pares. La escama presenta una espina pequeña. Los conos son colgantes con pedúnculos largos y comúnmente curvos, simétricos o algo oblicuos de 4 a 8 cm y algunas veces hasta 10 cm de largo y persistentes, su apófisis es delgada, aplanada y/o piramidal, lustrosa ocre amarillo, frecuentemente manchada con gris o verde. El ala de la semilla es muy gruesa en su base, sus ramillas son fuertes con las bases decurrentes de las brácteas, deciduas. Su corteza puede presentar color rojo y es delgada y escamosa.

Este árbol presenta una altura entre 12 a 15 metros con ramas fuertes y copa redondeada y compacta de hoja de color verde brillante en manchones esparcidos. Se localiza en América Central y se extiende a través del sur y oeste de México hasta el límite de los estados de Sinaloa y Sonora. Confinado en la región subtropical se asocia con *Pinus pringlei* y *P. lawsoni*.

La distribución en el México se localiza en Chiapas, Puebla, Oaxaca, Guerrero, Michoacán, Tepic, Durango, Zacatecas y Jalisco. En el estado Jalisco se

reporta de Bolaños a Guadalajara, de Talpa a Mascota, Guadalajara y La Laguna Jalisco (Russel, 1948).

***Quercus resinosa* Liemb.**

Se le conoce como encino, roble, encino amarillo, roble blanco (González, 1986).

Árbol con ramillas fuertes de 4 a 6 mm de diámetro, acalanadas tomentosas con lentejuelas pálidas y hojas caedizas de forma oblanceolada - obovada muy obtusas y subagudas con su base ligeramente cordada, de borde ondulado de 20 a 30 cm de largo por 10 a 15 de ancho, casi lisa arriba y finamente puberulentas abajo, un poco resinosas abajo de las nervaduras, las cuales son de 12 a 15 a cada lado apenas encorvadas, pecíolo corto y tomentoso.

Villareal, (1986) menciona que la distribución de esta especie es en Durango, sur de Zacatecas, Aguascalientes, Jalisco, Michoacán, Guanajuato, San Luis Potosí.

En el estado de Jalisco se encuentra en Acatic, Amatitan, Ameca, Arandas, Tala, Atemajac de Brizuela, Atenguillo, Ayo el Chico, Ayutla, Bolaños, Cuatitlán, Manantlán, Ixtlahuacán, Cuquío, Dedollado, El Tuito, Etzatlán, Encarnación de Díaz, Huachinango, Hostotipaquillo, Huejucar, Huejuquilla el alto, Ixtlahuacán del Río, Jesus María, Juanacatlán, Lagos de Moreno, Magdalena, Mascota, Mazamitla, Mixtla, Ojuelos, y otras localidades más (González, 1986).

3.2 Descripción del área de estudio

Con el apoyo del estudio agroecológico de las tierras de Bosque Escuela de la Universidad de Guadalajara, municipio de Tala, Jal. realizado por SARH en julio

de 1986, se destaca que el Campo Experimental Bosque Escuela (CEBE) cuenta con una superficie aproximada de 672 hectáreas localizadas al suroeste de la Sierra de la Primavera en el municipio de Tala, Jalisco. La localización de sus coordenadas geográficas entre los rangos 2 280 720 y 2 275 700 latitud norte y entre la longitud este 636 701 y 638 821 mapa 1.

Dentro de los recursos físicos que menciona la SARH (1986) son los siguientes.

3.2.1 Geomorfología

El CEBE constituye parte de la Provincia del Eje Neovolcánico perteneciente a la subprovincia Guadalajara, presenta notables manifestaciones de vulcanismo explosivo que data de tiempos recientes y evidentes en los alrededores de Guadalajara, y en la misma Sierra de la Primavera.

La geomorfología más evidente en el Bosque Escuela la constituyen principalmente sus sierras, lomeríos y algunas planicies. La que mayormente abunda son las sierras que corren de este - oeste en la parte sur y centro del Bosque Escuela. En su parte norte presenta lomeríos donde destacan los cerros de mayor altura, denominados Cerro Sotol y el Cerro Pelón, además existen extensiones considerables de planicies. Las sierras y lomeríos son las que influyen en el escaso desarrollo de los suelos, debido a la pérdida del mismo; en cambio las planicies se encuentran sobre márgenes de ríos y mesetas y éstas se encuentran principalmente en el área del camino hacia el norte y el área del río Taray.

3.2.2 Geología superficial

La mayor superficie está constituida por rocas ígneas en las que se encuentran basaltos y piedra pómez, tal es el caso de una mínima porción en las laderas del Cerro Sotol.

La composición mineralógica de la piedra pómez es el cuarzo y ortoclasa (*fedespato potásico*), *está última proporciona una elevada resistencia a transformaciones físicas y químicas*, lo que ocasiona el poco desarrollo de los

suelos de la región, también existen de texturas gruesas (arenosas) en todo el perfil. El alto contenido de potasio se debe a la ortoclasa que se acumula en el suelo por acción de agentes de interperismo.

El bajo contenido de basalto que existe en el área de alguna manera no ha influenciado en el desarrollo de los suelos.

3.2.3 Hidrología superficial

El área Bosque-Escuela se encuentra dentro de la región hidrológica No. 14, perteneciente al río Ameca. Esta a la subcuenca del río Salado, siendo parte de esa misma cuenca la Presa de La Vega-Cocula.

Del Cerro San Miguel se originan corrientes superficiales intermitentes con una dirección este - oeste que atraviesan el Bosque Escuela. Los arroyos intermitentes de mayor importancia son los siguientes: Las Presitas, Los Letreros y El Taray. Estos arroyos intermitentes aumentan su caudal durante la época de lluvias y no presentan un volumen mayor de agua, la descarga final de todos ellos se presenta en la Presa de La Vega.

3.2.4 Climatología

El Campo Experimental Bosque Escuela presenta un clima, de acuerdo a la clasificación de Köpen modificado por Enriqueta García (A) C (W₁)(W) estableciéndose como un clima semicálido subhúmedo con lluvias en verano.

De la información proporcionada por CONAGUA de la estación meteorológica de Tala, Jal. Méx, en el año 1996 se reportan los siguientes datos:

Precipitación media anual	884.6 mm
Precipitación mínima anual	3 mm (febrero)
Precipitación máxima anual	197.7 mm (junio)
Temperatura media anual	19.2° C.
Temperatura máxima promedio	36.5° C.
Temperatura mínima promedio	8.7° C.
Evaporación promedio anual	1443.65 mm

(CONAGUA, 1997)

3.2.5 Vegetación

Existe una gran variedad de estudios florísticos realizados en la Sierra de la Primavera, entre los que desatacan el de Estrada (1986) que reporta 117 especies, en el año de 1987 Abud menciona 170 especies, el estudio más completo corresponde a Rodríguez y Reynoso (1992) en el que reportan 73 familias con 213 géneros y 323 especies. Esto es el resultado durante 1987 - 1988.

La clasificación que utilizan Rodríguez y Reynoso (1992) para la vegetación del Bosque -Escuela es: bosque de pino encino, bosque tropical caducifolio, vegetación acuática y semiacuática y vegetación secundaria.

El bosque de pino encino se presenta en las planicies. Las especies de mayor dominancia son *Quercus resinosa*, y *Pinus oocarpa*, que se encuentran en manchones puros o mezclados, pequeños o grandes.

Dentro de su estrato arbóreo se encuentran, *Clethra rosei*, *Pinus oocarpa*, *Quercus magnoliifolia* y *Q. resinosa*. Los géneros más localizados y poco frecuentes son *Agarista mexivana* var. *pinetorum*, *Q. praineana* y *Q. viminea*.

Sobre cañadas húmedas, que son favorecidas por arroyos permanentes o de temporal y que se encuentran protegidos de los rayos directos del sol, se ubican *Quercus castanea*, *Q. laeta*, *Phoebe psychotrioides*, *Pinus devoniana*, *Prunus ferruginea*, *Psidium guejava*, *Salix humboldtiana*, *Xylosma velutinum*.

Para este mismo tipo de vegetación, el estrato arbustivo lo conforman de manera aislada *Agave guadalajarana*, *Baccharis salicifolia*, *Calliandra anomala*, *Cestrum nitidum*, *Chiococca alba*, *Kosteletzkya tubiflora*, *Lagascea helianthifolia*, *Montanoa karwinskii*, *Piper mexicanum*, *Pithecellobium leptophyllum*, *Salix taxifolia*, *Solanum umbellatum* y *Ximenia parviflora*.

El estrato herbáceo lo conforman *Bessera elegans*, *Bouteloua hirsuta*, *Dahlia coccinea*, *Echeandia flexuosa*, *Lasiacis nigra*, *Muhlenbergia diversiglumis*, *M. rigida*, *Nemastylis tenuis*, *Oplismenus bumanii*, *Paspalum humboldianum*, *Pereilena crinitum*, *Pericalia sessiliifolia*, *Polygala gracillima*, *Solanum deflexum*, *Tigridia dugesii*.

En los paredones húmedos se localizan frecuentemente *Achimene longiflora*, *Adiantum poiretii*, *Begonia gracilis*, *Blechnum glandulosum*, *Bletia macristhmichila*, *B. rosea*, *B. roezlii*, *Kohleria elegans*, *Pinguicula oblongiloba*, *P. parvifolia*, *Pitcairnia palmeri* var. *palmeri*, *Sprekelia formosissima*, *Tigridia meleagris* y *Woodwardia spinulosa*.

El Bosque tropical caducifolio se presenta su caída de hojas en época seca del año, desarrolla en planicies y pendientes suave y su arbolado no supera los 10 m.

El estrato arbóreo lo constituyen *Bombax palmeri*, *Bursera bipinnata*, *B. multijuga*, *B. penicillata*, *Ficus petiolaris*, *Ipomea intrapilosa*, *Lysiloma acapulcense*.

Su estrato arbustivo se compone de *Croton ciliatoglandulifera*, *Diphysa suberosa*, *Eysenhardtia platycarpa*, *E. polystachya*, *Opuntia jaliscana* y *Stemmadenia palmeri*.

Su estrato herbáceo lo conforman *Galeana pratensis*, *Gomphrena decumbens*, *Oplismenus burmanii* var. *burmanii*, *Sacoila lanceolata*, *Solanum candidum*. Son frecuentes las enredaderas *Clematis dioica*, *Dioscorea jaliscana* y *D. multinervis*. Las epífitas son *Oncidium cebolleta*, *Tillandsia achyrostachys*, *T. dasylirifolia* y *T. juncea*.

La vegetación acuática y semiacuática se localiza a orillas de arroyos permanentes o de temporal, siendo más abundante en la época de lluvias, constituidas por *Anagallis arvensis*, *Bacopa monieri*, *Commelina diffusa*, *Drymaria villosa*, *Erigeron velutipes*, *Heimia salicifolia*, *Heteranthera reniformis*, *Jaegeria pedunculata*, *Lindernia anagallídea*, *Ludwigia peploides*, *Mimulus glabratus*, *Polygonum punctatum*, *Satureja brownei*, *Sisyrinchium cernuum* y *Umbilicaria umbellata*.

Sobre la vegetación secundaria se desarrolla en áreas perturbadas forestales, ocasionado por cambios en el uso de suelo, incendios forestales, áreas con pastoreo intensivo, etc. Estas áreas se ubican en planicies y destacan las familias Gramineae, Compositae y Leguminosae, que al no presentar perturbaciones muestran una gran abundancia y altura.

En el estrato arbóreo arbustivo se localizan *Acacia farnesiana*, *A. pennatula*, *Verbesina greenmanii*, *V. sphaerocephala*.

Su estrato herbáceo lo componen *Aeschynomene villosa* var. *villosa*, *Aristida jorullensis*, *Bidens odorata*, *Bouteloua repens*, *Chamaecrista rotundifolia*, *Cosmos sulphureus*, *Crotalaria rotundifolia*, *Dalea cliffortiana*, *Diodia teres*,

Dyssodia porophyllum var. *cancellata*, *Eragrostis maypurensis*, *Eryngium beecheyanum*, *Evolvulus alsinoides*, *Macroptilium gibbsifolium*, *Paspalum notatum*, *Pereilema crinitum*, *Schizachyrium brevifolium*, *Schkuhria pinnata* var. *guatemalensis*, *Sida linifolia*, *S. rhombifolia*, *Tages filifolia*, *T. micrantha*, *T. subulata* y *Zornia reticulata*.

3.3 METODOLOGÍA PARA LA REEMEDICIÓN DEL CAMPO EXPERIMENTAL BOSQUE ESCUELA

Se realizaron mediciones a lo largo del perímetro del Campo Experimental Bosque Escuela de las cuales se obtuvieron 101 coordenadas geográficas y posteriormente éstas se transformaron a un plano usando la proyección la proyección plana de Mercator y Esferoide de Clark 1866. De lo anterior se obtuvo el límite y el cálculo del área del polígono, con el apoyo del programa ILWIS mediante un modelo digitalizado se obtuvo un mapa base.

3.4 METODOLOGÍA PARA LA ESTRATIFICACION DEL AREA DE ESTUDIO

3.4.1 Preparación del material fotográfico

Se contó con fotografías aéreas a color en escala 1 : 10, 000 de 1982.

Obtenida la ordenación de las fotografías y teniendo toda la imagen del Campo Experimental Bosque Escuela, se procedió a marcar los puntos principales, puntos transferidos y se localizaron los puntos auxiliares con la finalidad de obtener una área de fotointerpretación.

3.4.2 Desarrollo del proceso de estratificación

Con el apoyo de la estereoscopia de espejos se delimitó la superficie del Bosque Escuela mediante estratos, que correspondió al número de árboles sobre superficie y se observó mediante la abundancia o ausencia de copas del arbolado.

3.4.3 Clasificación de los estratos

Los estratos se establecieron como estrato I; aquella superficie que carece de espacios abiertos o no existen áreas sin vegetación, y en la cual se encuentra una gran cantidad de arbolado que cubre la totalidad del terreno por medio de la observación de copas del arbolado.

En el estrato II existen pequeñas áreas sin vegetación y es fácil su observación al encontrar suelos sin vegetación, en este estrato la abundancia de arbolado es regular. Se observan algunos espacios sin vegetación o por la presencia de copas de arbolado, estas áreas presentan grandes superficies.

Para el estrato III corresponden todas aquellas superficies pobres, sin vegetación sobre la superficie de terreno forestal.

3.4.4 División de estratos

Estratificado el Campo Experimental Bosque Escuela se procedió a ubicar cada uno de los sitios marcados en la fotografía aérea, de los 451 sitios existentes.

3.5 METODOLOGIA PARA LA DETERMINACION ESTRUCTURAL DEL RODAL

3.5.1 Determinación de la estructura del rodal, mediante distribuciones diamétricas

Se consideró el estrato II como el más representativo debido a la mayor abundancia de *Quercus resinosa* y *Pinus oocarpa*.

Dentro del estrato II se colectó la información de 776 individuos, en lo referente al 1.30 m a *Pinus oocarpa* y 1190 individuos para *Quercus resinosa*. Es interesante resaltar que dicha captura de datos procede del Inventario Forestal Continuo del Campo experimental Bosque Escuela (1990 -1993), así como las categorías diamétricas presentes para cada especie.

Posteriormente se procedió a realizar la categorización diamétrica para ambas especies con sus respectivas medidas de tendencia central y medidas de dispersión.

Esto con la finalidad de establecer como se encuentra la estructura del rodal en función de las distribuciones diamétricas. El objetivo fue conocer si el comportamiento de esta variable tiende a una distribución normal por ser un bosque natural, el cual no ha presentado ningún tipo de intervención silvícola.

Se aplicó una categorización diamétrica de 5 cm, partiendo de 15 cm hasta la categoría máxima presente para cada especie.

Otro procedimiento empleado para establecer la estructura del rodal para ambas especies, fue mediante un coeficiente de variación aplicado a cada clase diámetrica con la finalidad de determinar la oscilación de la información dentro de cada clase.

Un último procedimiento para determinar la estructura del rodal de *Pinus oocarpa* y *Quercus resinosa* fue mediante el empleo de cinco tipos diferentes de distribuciones de probabilidad de densidad, que a continuación se describen.

Distribución normal

La función de probabilidad de densidad para la distribución normal se utilizará la ecuación:

$$Y = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}(x-\mu)^2 / \sigma^2}$$

Distribución gama

Para la función de probabilidad de densidad de la distribución gama se empleó la siguiente ecuación:

$$f(x; \alpha, \beta) = \frac{x^{\alpha-1} e^{-x/\beta}}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} \quad \text{Para } x \geq 0$$

$$= 0 \quad \text{Para } x \leq 0$$

Distribución χ^2

La ecuación que se utilizará para la distribución χ^2 presenta la siguiente función de probabilidad de densidad:

$$f(x; v) = \frac{1}{2^{1/2} v \Gamma(1/2 v)} e^{-1/2 v} (x^2)^{(1/2 v - 1)}$$

v = grados de libertad

Distribución Weibull

Se aplicó para la función de probabilidad de densidad para la distribución Weibull con siguiente ecuación:

$$f(x; \alpha, \beta, \gamma) = \frac{\gamma}{\beta} \frac{(x - \alpha)^{\gamma - 1}}{\beta} \left(\exp\left(-\frac{(x - \alpha)^\gamma}{\beta}\right) \right), \text{ para } x \geq 0$$

$$= 0 \quad \text{para } x < 0$$

α = Parámetro de localización, representado por el destino bajo de x .

β = Parámetro escalar ($\beta < 0$)

γ = Parámetro de forma ($\gamma < 0$)

Distribución lognormal

La función de probabilidad de densidad para la distribución lognormal fue la ecuación siguiente:

$$f(x; \mu, \sigma^2) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \sigma x} e^{-1/2\sigma^2 (\ln(x) - \mu)^2}$$

3.6 METODOLOGIA PARA LA DETERMINACION DE LA CALIDAD DE SITIO DE *Pinus oocarpa* Y *Quercus resinosa*

Para el levantamiento de la información del Inventario Forestal Continuo en el Campo Experimental Bosque Escuela realizado en el período (1990-1993), se utilizaron tamaños de sitio de muestreo diferentes, en las cuales se levanto la

información del arbolado, adulto, considerando aquel que presenta un diámetro altura de pecho menor de 10 cm y regeneración. Cada una de estas unidades presenta diferente superficie, la mayor tiene una superficie de 1000 m² para el arbolado adulto, la incorporación con una superficie de 400 m² y regeneración con una superficie de 80 m².

La distribución de la muestra fue del tipo sistemático para toda la superficie del Campo Experimental Bosque Escuela.

El tamaño de muestra para este objetivo no se aplicó porque se utilizó la información obtenida del Inventario Forestal, tal como lo se indica en Método de Desarrollo Silvícola.

Para *Pinus oocarpa* se consideró la información obtenida de cilindros de madera por medio del taladro de Pressler en cada uno de los sitios localizados en toda el área de estudio, de los cuales fueron únicamente considerados árboles dominantes y codominantes.

3.6.1 Aplicación de modelos matemáticos para determinar la calidad de estación de *Pinus oocarpa*.

Para tal efecto se emplearon tres modelos, los cuales se ubican dentro de los modelos no lineales, éstos son los que se presentan en la tabla 1.

Tabla 1: Modelos aplicados a *Pinus oocarpa* para obtener la calidad de sitio.

Modelo	Ecuación
G. Backman	$h = \exp (a_0 + a_1 * \ln t + a_2 * \ln t^2)$
Schumacher	$\ln h = a_0 + a_1 (1/t)$
Chapman & Richards	$h = a_0 [1 - \exp (-a_1 t)] [(1 - (-a_2)^{-1})]$

Para obtener el modelo no lineal Backman fue necesario realizar una linearización del modelo mediante la aplicación de logaritmos.

Con estos parámetros se procedió a realizar el cálculo de las curvas de índice de sitio, para tener una calificación del rodal para cada especie.

Para el caso de *Quercus resinosa* se realizó el siguiente procedimiento:

Por no presentar aspecto similar al de la familia Pinaceae en ésta especie no se realizó la extracción de cilindros de madera para establecer una relación edad altura.

Para el caso se realizó el troceo del individuo, así como la revisión de la xiloteca del DMCyP de los diferentes cortes (tangencial, transversal y longitudinal) de *Quercus resinosa*, con la finalidad de localizar poros de tamaño uniforme o aquellos que cambian gradualmente, para establecer las diferentes áreas de crecimiento que pueden ser consideradas como un ciclo o anillo anual de crecimiento.

En la xiloteca del Departamento de Madera, Celulosa y Papel de la Universidad de Guadalajara se observaron cortes transversales de rodajas, y se constató que el crecimiento en los primeros años era muy evidente, y algunos años posteriores se presenta la característica típica de su porosidad difusa, la cual no establecía ya las áreas de crecimiento (IAWA, 1964), éstos poros se presentan bastante uniformes o cambian solo gradualmente de tamaño y distribución en el área de crecimiento. Fortaleciendo el comentario anterior existen varias citas al respecto sobre *Quercus resinosa* que si presenta una porosidad difusa (Montes y Grellmann, 1982), (De La Paz 1982). Los primeros establecen que los poros en un corte transversal la mayor parte de ellos son

medianos y con un ordenamiento difuso, los cuales forman hileras cortas, radiales y diagonales.

Por las situaciones antes presentadas de no ser posible obtener la calidad de estación para *Quercus resinosa*, se procedió a realizar este procedimiento solamente para la especie *Pinus oocarpa*.

3.7 METODOLOGIA PARA LA DETERMINACION VOLUMETRICA DE *Pinus oocarpa*

La toma de información debe realizarse con la mejor precisión ya que para poder establecer el volumen real de un árbol se crean dos tipos de errores en lo correspondiente a la medición de las variables y al modelo matemático.

Para la construcción de una tabla de volumen local se ha originado una discusión sobre la muestra a considerar refiriéndose al número de árboles a cubicar; pero el contar con una información previa, es posible estadísticamente conocer la variación en cada categoría diamétrica (Jiménez, 1988).

Para la muestra se consideró que el arbolado debería reunir ciertas características fenotípicas como es fuste recto, buena conformación de copa y que la muestra se encontrara distribuida en las categorías diamétricas y alturas existentes.

El procedimiento que se estableció para la toma de información y el cálculo de volumen se realizó mediante los siguientes procedimientos:

3.7.1 Tamaño de muestra

Para establecer el tamaño de muestra no se consideró ningún aspecto estadístico, pero en cambio se basó en citas referentes a este tipo de trabajos. Uno de ellos es el de Loetsch (1973), que recomienda en la construcción de una tabla de cubicación volumétrica deberán considerarse entre 50 y 100 individuos para una aplicación local. Otra cita es la de Pece de Rios (1994) que empleo una muestra de 85 árboles para una tabla de volumen comercial de *Eucalyptus pellita*.

3.7.2 Determinación de altura y diámetro por árbol

Cada una de las secciones que se obtuvieron para cada árbol, se cálculo de una manera individual el diámetro inferior y diámetro superior, así como la longitud de la sección o troza.

El procedimiento de medición de alturas para cualquier diámetro, altura total, maderable, longitud de copa. Se obtuvo mediante un cálculo sencillo.

Al tener los valores en forma de porcentaje es necesario tener el dato de altura de la punta (P_2) o sea la altura superior y también la altura inferior que es la altura a la base del árbol (P_1). El procedimiento que se realiza para obtener la altura del árbol es en base al siguiente procedimiento (Pérez, 1985).

$$h = a (P_2 - P_1) / 100$$

donde:

h = altura del árbol

a = distancia

P_2 = altura superior o de la punta

P_1 = altura de la base inferior al nivel del suelo

Para el caso de la medición del diámetro en altura se obtiene de las unidades taquimétricas (UT), las cuales se obtienen del telerrelascopio mediante la observación y ubicación de franjas de color blanco y oscuro que se ajustan al diámetro deseado y mediante procesos de cálculo se obtienen los diámetros respectivos (Pérez, 1985).

$$d = UT * d h$$

donde:

d = diámetro

UT = unidad taquimétrica

d h = distancia horizontal (a la medición del árbol)

3.7.3 Cálculo del área basal de cada sección

Como se mencionó anteriormente, el árbol se dividió en un número indeterminado de secciones, presentando dos diámetros y una longitud, tal como sí se tratará de una troza a excepción del ápice del árbol o punta.

El primer procedimiento que se realizó fue el cálculo el área basal con extremos de la troza su respectiva longitud.

$$g = \pi/4 * d^2$$

donde:

g = área basal

$\pi = 3.14159$

d = diámetro

3.7.4 Determinación del volumen de cada una de las secciones

Para obtener el volumen de cada una de las secciones, se logró mediante el empleo de la fórmula de Smalian para trozas con dos áreas basales:

$$v = \frac{g_1 + g_2}{2} * l$$

donde:

v = volumen

g_1 = área basal de la sección inferior

g_2 = área basal de la sección superior

l = longitud de la troza

3.7.5 Determinación del volumen del ápice del árbol

Para el cálculo del volumen del ápice del árbol se procedió a emplear la fórmula del cono, que se muestra su procedimiento en la siguiente fórmula.

$$vc = \frac{g}{3} * l$$

donde:

vc = Volumen del cono

g = área basal de la sección

l = longitud de la troza o altura

3.7.6 Determinación del volumen total por árbol

Posteriormente se obtuvo el volumen total del individuo, sumando cada una de las secciones, así como el volumen de la punta del árbol. Para tal fin se utilizó la ecuación siguiente:

$$vt = v_1 + v_2 + v_3 \dots + vc$$

donde:

vt = Volumen total del árbol

v_1, v_2, v_3 = Volumen de cada sección

vc = Volumen de la punta del árbol

3.7.7 Construcción de una tabla volumétrica

La finalidad de esta tabla volumétrica es establecer un promedio de volumen presente por árbol de ésta especie para un manejo sustentable y establecer criterios para el manejo forestal en la Sierra La Primavera.

Su construcción se basó en el empleo de variables dependientes (volumen), así como variables independientes, (diámetro a 1.30 m y altura total).

Los modelos que se emplearon para la construcción de la tabla de volumen son los que se observan en la tabla 2.

Tabla 2: Modelos matemáticos para la construcción de tablas volumétricas de *Pinus oocarpa*.

Modelos	
1.	$v = a_0 + a_1 d$
2.	$v = \exp(a_0 + a_1 d)$
3.	$v = a_0 + a_1 d^2 * h$
4.	$v = a_0 + a_1 * d^2 + a_2 * d^2 h + a_3 * h^2 + a_4 * dh^2$
5.	$v = a_0 * d$
6.	$v = a_0 + a_1 * d^2$
7.	$v = a_0 * (d^2 * h)$
8.	$v = a_0 * d^{a_1}$
9.	$v = a_0 + a_1 * d + a_2 * (d * h) + a_3 * d^2 + a_4 * h + a_5 * (d^2 * h)$
10.	$v = a_0 + a_1 * (d^2) + a_2 * h + a_3 * (d^2 * h)$
11.	$v = a_0 * h + a_1 * (d * h) + a_2 * (d^2 * h)$
12.	$v = a_0 * (d * h)$
13.	$v = a_0 * d^2$

Para facilitar el manejo de la tabla anterior se mencionan las siguientes consideraciones:

v = volumen

d = diámetro a 1.30 m

h = altura total

f = coeficiente de forma o coeficiente mórfico

$a_0; a_1; a_2; a_3; a_4; a_5$ = coeficientes de la regresión

De los modelos matemáticos se eligió uno para la construcción de la tabla volumétrica, de acuerdo a los resultados que se obtuvieran como lo es el error estándar de la estimación, el coeficiente de determinación y el coeficiente de determinación ajustado y el número de variables utilizadas en el modelo matemático.

4. RESULTADOS

4.1 Reemedición de la superficie del Campo Experimental Bosque Escuela

Con el recorrido en el Campo Experimental Bosque Escuela se obtuvieron 101 coordenadas geográficas y al ser éstas transformadas a un plano usando una proyección plana de Mercator y Esfeide de Clark (1866), se obtuvo un perímetro de 23.34685 Km y una área de 951.848773 tal como se observa en el mapa 2.

4.2 Estratificación del Campo Experimental Bosque Escuela (CEBE) realizada mediante fotografía aérea

Se realizó un post - muestreo utilizando las fotografías aéreas a color de escala 1:10000 que conformaron la imagen del Campo Experimental Bosque Escuela. Del total de 451 sitios de muestreo en el CEBE de 1990 a 1993, se localizaron y se interpretó a que estrato correspondía cada uno de ellos, por lo que se estableció para el estrato I correspondieron 126 sitios, el estrato II con 157 sitios y el estrato III con 168 sitios.

El muestreo realizado en el Campo Experimental Bosque Escuela fue sistemático, teniendo entre sitios una distancia de 200 m y entre líneas de 100 m. Este muestreo se realizó en el área de estudio, sin considerar ningún tipo de vegetación. El número de sitios de muestreo fue de 451 sitios en una superficie de 951.84 ha., por lo que la intensidad de muestreo fue de 4.74 %.

4.3 Vegetación presente en el estrato II

Como se mencionó anteriormente el estrato II presentó 157 sitios de muestreo, presentando un total de 2392 individuos ubicadas en diferentes familias con 13 géneros. Como se aprecia en la (tabla 3).

Tabla 3: Vegetación presente en el estrato II y porcentaje en la comunidad.

Familia	Género	Especie	No. de individuos	Porcentaje
Fagaceae	<i>Quercus</i>	<i>resinosa</i>	1000	41.806
Pinaceas	<i>Pinus</i>	<i>oocarpa</i>	722	30.1839
Clethra	<i>Clethra</i>	<i>rosei</i>	227	9.48997
Leguminosae	<i>Acacia</i>	<i>penntula</i>	119	4.97492
Fagaceae	<i>Quercus</i>	<i>viminea</i>	95	3.97157
Leguminosae	<i>Agarista</i>	<i>mexicana</i>	65	2.71739
Fagaceas	<i>Quercus</i>	<i>laeta</i>	44	1.83946
Leguminosae	<i>Lysiloma</i>	<i>acapulcense</i>	41	1.71405
Fagaceae	<i>Quercus</i>	<i>magnoliifolia</i>	39	1.63043
Fagaceae	<i>Quercus</i>	<i>castanea</i>	22	0.919732
Moraceae	<i>Ficus</i>	<i>petiolaris</i>	5	0.20903
Ficourtiaceae	<i>Xylosoma</i>	<i>velutinum</i>	3	0.125418
Salicaceae	<i>Salix</i>	<i>taxifolia</i>	1	0.041806
Lauraceae	<i>Phoebe</i>	<i>psychotrioides</i>	1	0.041806
Salicaceae	<i>Salix</i>	<i>humboldtiana</i>	2	0.083612
	spp.	Sp	6	0.250836
TOTAL			2392	100 %

Como se aprecia en la tabla anterior es posible establecer que las especies de mayor dominancia de *Quercus resinosa* y *Pinus oocarpa*. Por lo que se emplean estas dos especies para el trabajo de investigación.

4.4 ESTRUCTURA DEL RODAL

4.4.1 Evaluación de variables de medición para el estrato II

La información levantada en el estrato II, considera datos de 776 individuos de *Pinus oocarpa* referentes al diámetro a 1.30 m presentando diámetros que oscilan entre 5 y 54 cm.

Con esta información se realizaron pruebas de medidas de tendencia central y medidas de dispersión, con la finalidad de presentar resultados sobre el comportamiento diamétrico de esta especie (tabla 4).

Tabla 4: Medidas de tendencia central y medidas de dispersión para la variable diámetro de *Pinus oocarpa*.

Variable	Resultado
Tamaño de muestra	776
Promedio	22.9593
Mediana	22.1
Moda	10
Media geométrica	20.6688
Varianza	99.8097
Desviación estándar	9.99048
Error estándar	0.358637
Mínimo	5
Máximo	54
Rango	49
Cuartil menor	15
Cuartil superior	29.45

Al observar los resultados de la tabla 4, la población de *Pinus oocarpa* presentó un promedio diamétrico de 22.95 cm, una mediana de 22 cm, y una moda de

10 cm. Lo que indica que el comportamiento de la distribución se presenta con una mayor dominancia en las primeras categorías. La media geométrica es de 20.67 cm, que se ubica próxima a la mediana y no a la moda, lo cual presenta un sesgo de la distribución probabilística hacia las categorías diamétricas menores.

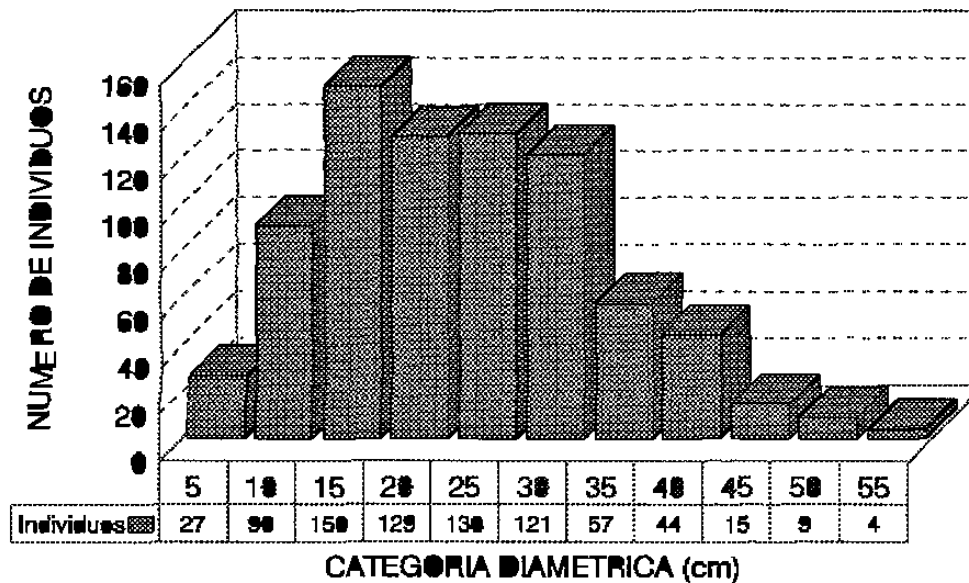
Sobre los resultados de la medidas de dispersión se presentó el valor para la desviación estándar de 9.99048 cm con una varianza de 99.048.

El resultado del cuartil menor indica que el 25% del diámetro altura de pecho de *Pinus oocarpa* de encuentra por debajo de los 15 centímetros,. El cuartil superior establece que el 75% de la muestra presentan diámetros menores a 29.45 cm. Otro de los resultado es sobre el sesgo que presenta la distribución.

4.5 Estructura del un rodal de *Pinus oocarpa* mediante categorías diamétricas

Para la categorización diamétricas de la población de *Pinus oocarpa*, se realizaron categorizaciones del rodal con intervalos de 5 cm, y teniendo como resultado lo que aprecia en la (gráfica 1).

CATEGORIA DIAMETRICA PARA *Pinus oocarpa*
Sierra de La Primavera, Jal. Méx.



Gráfica 1: Categoría diamétrica para *Pinus oocarpa*.

Como es apreciable en la gráfica 1, en el eje de las x presenta dos columnas, la superior nos indica las categorías diamétricas, la inferior indica el número de individuos presentes en cada categoría.

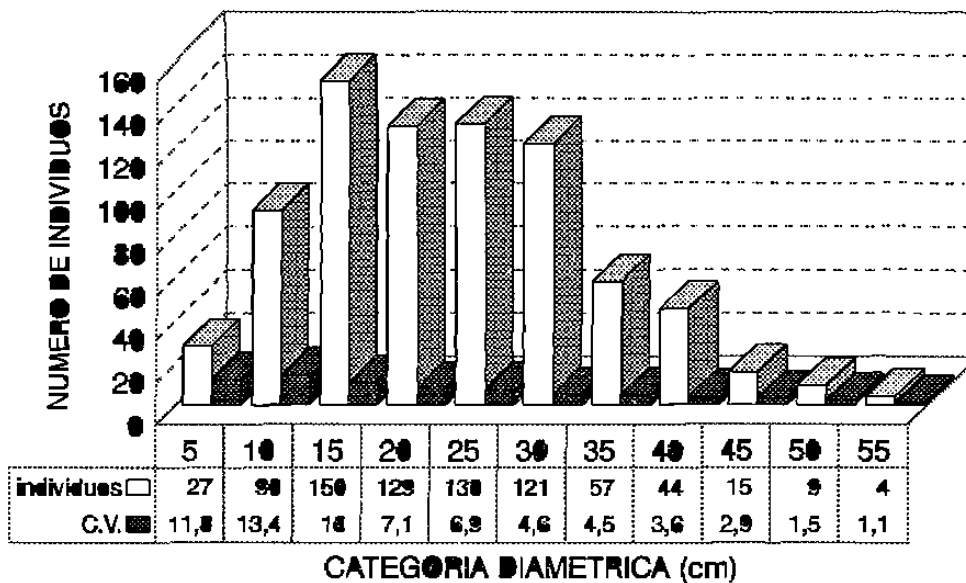
En una observación se presenta la forma de la distribución normal, pero con un sesgo en las categorías menores, siendo la categoría de 15 cm, la que se presenta en mayor número de individuos (150), las posteriores categorías (20, 25 y 30 cm) presentan un número similar de individuos (129, 130 y 121).

Sobre la cola de las categorías menores, el comportamiento de las categorías no presentan una forma suave con respecto al número de individuos presentes para cada una de ellas, por consiguiente para las categorías mayores, presentan una pendiente más suave.

4.5.1 Estructura del rodal de *Pinus oocarpa* mediante coeficiente de variación para categorías diamétricas

Para este resultado se procedió a realizar una categorización de la población de *Pinus oocarpa* que presenta un total de 776 individuos. La categorización diamétrica consistió cada 5 cm, como se aprecia en la (gráfica 2).

DISTRIBUCION DIAMETRICA CON COEFICIENTE DE VARIACION *Pinus oocarpa* Schiede. Sierra de La Primavera, Jal. Méx.



Gráfica 2: Categoría diamétrica con coeficiente de variación para *Pinus oocarpa*.

Como se observa en la gráfica 2 el coeficiente de variación para categorías se encuentra en función de la distribución arborea en cada categoría a partir de su intervalo. En forma simple se observa una distribución normal, pero con un abrupta tendencia de la curva en las primeras categorías, tal es el caso en las categorías 5, 15 en la que se encuentra el mayor coeficiente de variación 11.8, para categoría 5; 13.4 para la categoría 10 y 10 para categoría de 15 cm. Esta variación está definida porque presentan información en lo ancho de la

categoría a partir de su intervalo, lo que se podría deducir que en las categorías antes mencionadas, existen individuos que inician su incorporación a la categoría o que pasarán a la categoría siguiente.

Para categorías posteriores, a partir de la categoría 20, su coeficiente de variación se encuentra principalmente en la parte central de la categoría y/o en su intervalo, por lo que su coeficiente de variación es menor.

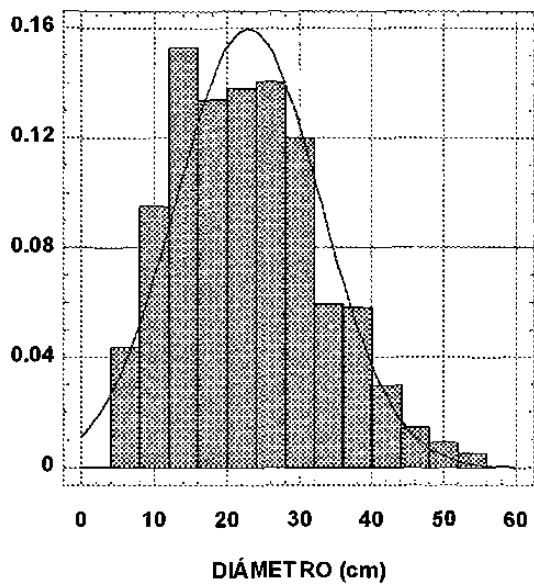
4.6 Distribuciones probabilísticas de densidad para la estructura del rodal *Pinus oocarpa* considerando el diámetro a 1.30 m

Para la validación del modelo de distribución probabilística para la población de *Pinus oocarpa*, fue necesario obtener información de las categorías diamétricas menores de 10 cm, debido a que es necesario obtener datos de la población para observar la tendencia de distribución.

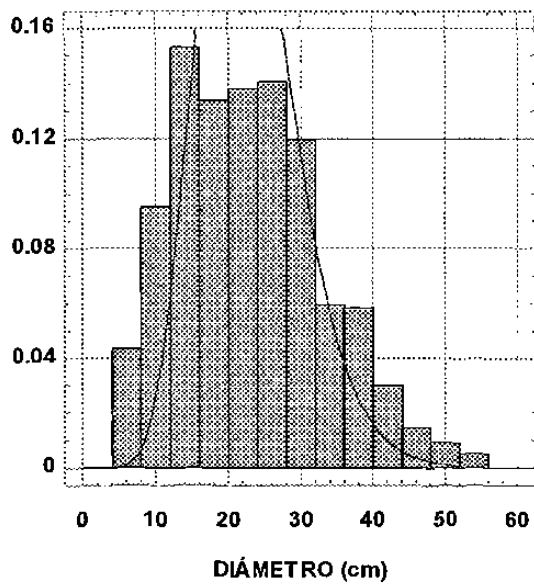
Para las pruebas de distribución de probabilidad se reunieron un total de 776 datos para la población de *Pinus oocarpa*. Para la validación del modelo matemático en una de las distribuciones de probabilidad fue necesario aplicarles pruebas de bondad de ajuste como son la prueba de χ^2 y la prueba de Kolmogoro - Smirnov.

En total se probaron cinco tipos diferentes de distribuciones de probabilidad, las cuales son la distribución normal, distribución χ^2 , distribución gama, distribución Weibull y distribución lognormal. En las que se emplearon 15 clases ya que la fórmula para determinar el número de clase sería $\sqrt{776}$ del que se obtendrían 28 clases, y el número de clases deberá encontrarse entre 5 y 15 y no exceder de este valor, por lo que se consideró utilizar éste último.

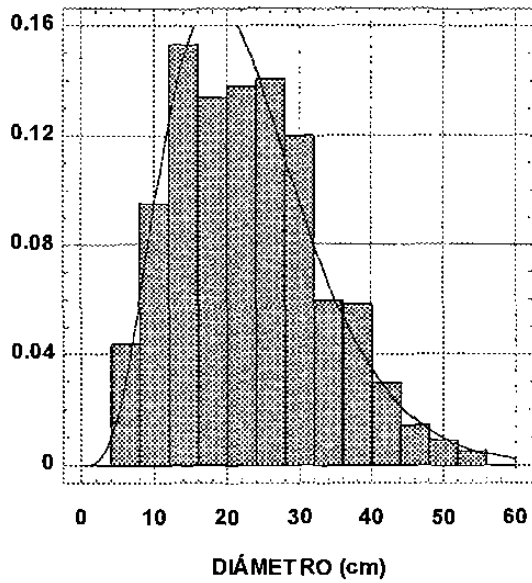
Los resultados obtenidos de las distribuciones probabilísticas de densidad que se aplicaron a *Pinus oocarpa*, se aprecian a continuación con su respectiva frecuencia relativa se observa a continuación.



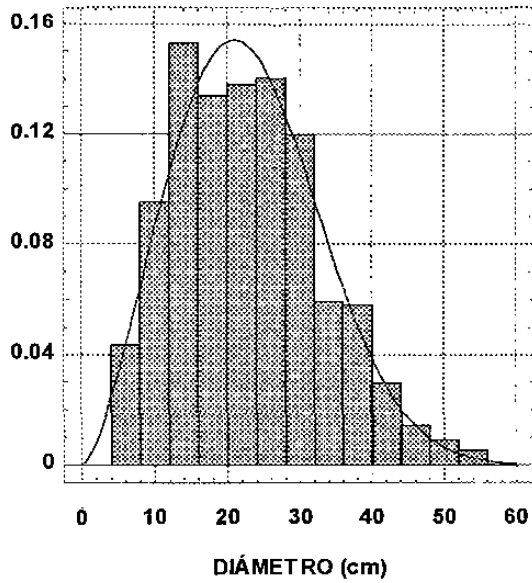
Gráfica 3: Distribución normal del diámetro para *Pinus oocarpa*.



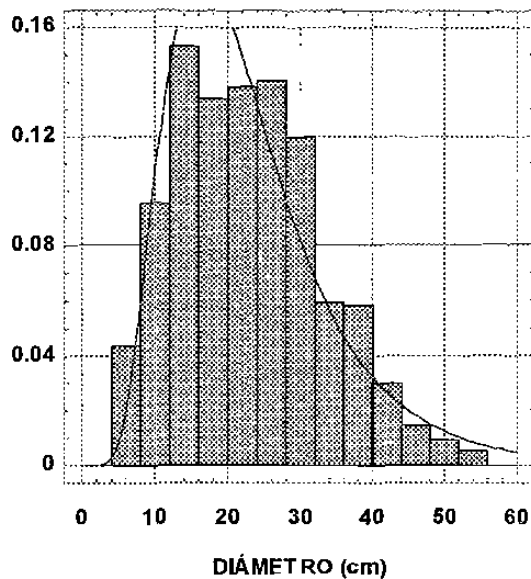
Gráfica 4: Distribución χ^2 del diámetro para *Pinus oocarpa*.



Gráfica 5: Distribución gama del diámetro para *Pinus oocarpa*.



Gráfica 6: Distribución Weibull del diámetro para *Pinus oocarpa*.



Gráfica 7: Distribución lognormal del diámetro para *Pinus oocarpa*.

De los cinco tipos de distribuciones probabilísticas que se emplearon para *Pinus oocarpa*, se realizaron dos pruebas de bondad de ajuste, la χ^2 y la Kolmogorov - Smirnov como se aprecia en la (tabla 5).

Tabla 5: Resultados de las distribuciones probabilísticas empleadas a *Pinus oocarpa*.

Distribución	α	β	Media	Desv. est	Long mín	Long max	Prueba χ^2 15 clases	Prueba Kolmogorov Smirnov
Normal	-----	-----	22.9593	9.99048	2.55	56.45	7.34905E-9 10 gl.	0.0144115
Lognormal	-----	-----	23.1934	11.8085	2.55	56.45	1.82957E-3 12 gl.	2.67381E-3
Weibull	2.4717	25.9365	-----	-----	2.55	56.45	0.0645121 11 gl.	0.351733
Gama	4.91753	0.21418	-----	-----	2.55	56.45	0.0660721 11 gl.	0.125594
χ^2	-----	-----	22.959 8 gl	-----	2.55	56.45	0 8 gl.	0

En la tabla 5 destaca por su resultado las pruebas de bondad de ajuste de la distribución Weibull en su prueba de χ^2 con 0.0645121 y en la prueba de Kolmogorov - Smirnov 0.35173. Otra distribución que presentó resultados significativos fue la distribución gama en su prueba de normalidad χ^2 (0.0660721) y la prueba de Kolmogorov - Smirnov (0.125594).

Para establecer criterios del mejor ajuste en ambas distribuciones se recurrió al resultado de la distribución Weibull de sus pruebas de bondad de ajuste χ^2 (tabla 6) y Kolmogorov - Smirnov (tabla 7).

Tabla 6: Prueba de bondad de ajuste χ^2 para la distribución Weibull de *Pinus oocarpa*.

Límite mínimo	Límite máximo	Frecuencia observada	Frecuencia esperada	χ^2
Menor de 0	5.00	4	13.2	6.3800
5.00	8.67	38	36.8	.3262
8.67	12.33	75	64.3	1.7924
12.33	16.00	110	88.6	5.1574
16.00	19.67	96	104.6	.7119
19.67	23.33	97	109.2	1.3571
23.33	27.00	100	102.1	.0443
27.00	30.67	88	86.2	0.363
30.67	34.33	61	65.9	.3653
34.33	38.00	42	45.6	.2889
38.00	41.67	31	28.6	.2004
41.67	45.33	17	16.2	.0378
45.33	49.00	7	8.3	.2037
Arriba de 49.00		10	6.3	2.2024

$\chi^2 = 18.8142$ con 11 grados de libertad Nivel de significancia = 0.0645121

Como se observa en la tabla 6 la prueba de bondad de ajuste de χ^2 para *Pinus oocarpa*, y la variación de esta prueba resulta de las diferencias encontradas entre las frecuencias observadas y las frecuencias esperadas.

En la tabla 6, la variación que se presenta para la especie en las clases menores de 0 a 5, se tiene una frecuencia observada (4) y una frecuencia esperada (13.2) con χ^2 de 6.3800, este resultado se debe a que requiere un mayor valor en la frecuencia esperada. Por lo que se puede establecer que se presentan problemas en la regeneración de *Pinus oocarpa*; otro caso similar es el de la clase 19.67 a 23.33 con una frecuencia observada (97) y una esperada de (109.2) y un resultado de χ^2 de 1.3571.

La clase 12.33 a 16.00 con una frecuencia observada (110) y una esperada (88.6), estableciendo una χ^2 5.1574 de la que se recalca que fue mayor la observada a la esperada; otro caso semejante se presentó en la clase 8.67 a 12.33, con una observada (75) y una muestra esperada (64.3) y χ^2 1.7924.

Otra variación por mencionarse es la de clase 45.33 a 49.00 con una frecuencia observada (7) y una esperada de (8.3) con χ^2 .2037. A partir de la clase 49.00 en adelante se muestra en la tabla 3 que las frecuencias observadas son menores a las frecuencias esperadas, por lo que se deduce para esta situación, que existe una mayor cantidad de individuos para las categorías diamétricas.

El resultado de la prueba de bondad de ajuste Kolmogorov - Smirnov de la distribución Weibull empleado a *Pinus oocarpa* destacó los resultados que se presentan en la tabla 7.

Tabla 7: Prueba de bondad de ajuste Kolmogorv - Smirnov para la distribución Weibull de *Pinus oocarpa*.

Distancia máxima	0.033411
Distancia mínima	0.0196377
Nivel de significancia	0.351733

De acuerdo al resultado de la tabla anterior, el nivel de significancia 0.351733 se acepta el resultado de la prueba de bondad de ajuste Kolmogorov - Smirnov.

Las distancia máximas y mínimas proporcionan información sobre la variación existente de esta prueba de normalidad de la distribución Weibull.

Por los resultados obtenidos, en las pruebas de bondad de ajuste χ^2 y Kolmogorov - Smirnov para la distribución Weibull de la población de *Pinus oocarpa*, ambos presentan resultados favorables en la que se aceptan, tal como se muestra en las tablas para ésta distribución.

La prueba de bondad de ajuste χ^2 , a pesar de presentar sensibilidad de ambas secciones arrojó resultados contundentes para aceptar esta distribución, la prueba de Kolmogorov - Smirnov mostró un valor de significancia de (0.351733) en comparación con χ^2 (0.0645121) lo que indica que de acuerdo al resultado resultado de Kolmogorov - Smirnov para distribución gama en la tabla 9, en la que en ambas pruebas se acepta su nivel de significancia.

Otra distribución adecuada de acuerdo a los resultados de las pruebas de bondad de bondad de ajuste χ^2 y Kolmogorov Smirnov, fue la distribución gama (tabla 5). En la tabla se indica de acuerdo a los resultados de χ^2 (0.0660721) y Kolmogorov Smirnov (0.125594). Para ambas pruebas se acepta el nivel de significancia.

Los resultados de la prueba de bondad de ajuste χ^2 y Kolmogorov Smirnov para la distribución gama se presenta en la tabla 8, y el resultado de Kolmogorov Smirnov para distribución gama en la tabla 9, en la que en ambas pruebas se acepta su nivel de significancia.

Otra distribución adecuada de acuerdo a los resultados de las pruebas de bondad de ajuste χ^2 y Kolmogorov Smirnov, fue la distribución gama (tabla 5). En la tabla se indica de acuerdo a los resultados de χ^2 (0.0660721) y Kolmogorov Smirnov (0.125594). Para ambas pruebas se acepta el nivel de significancia.

Los resultados de la prueba de bondad de ajuste χ^2 y Kolmogorov Smirnov para la distribución gama se presenta en la tabla 8, y el resultado de Kolmogorov Smirnov para distribución gama en la tabla 9, en la que en ambas pruebas se acepta su nivel de significancia.

Tabla 8: Prueba de bondad de ajuste χ^2 para la distribución gama de *Pinus oocarpa*.

Límite mínimo	Límite máximo	Frecuencia observada	Frecuencia esperada	χ^2
Debajo de 0	8.67	42	34.6	1.5669
8.67	12.33	75	72.1	.1150
12.33	16.00	110	106.0	.1523
16.00	19.67	96	119.3	4.5446
19.67	23.33	97	113.4	2.3852
23.33	27.00	100	96.1	.1572
27.00	30.67	88	74.8	2.3142
30.67	34.33	61	54.7	.7371
34.33	38.00	42	37.9	.4328
38.00	41.67	31	25.3	1.2857
41.67	45.33	17	16.3	.0274
45.33	49.00	7	10.2	1.0153
49.00	52.67	7	6.3	.0886
Arriba de 52.67		3	8.9	3.9079

$\chi^2 = 18.7323$ con 11 grados de libertad Nivel de significancia = 0.0660721

Como se observa en esta tabla de prueba de bondad de ajuste χ^2 , para la distribución gama con 15 clases, no presentaron grandes diferencias entre las frecuencias observadas y las frecuencias esperadas. Como se muestra en la

clase menor de 0 a 8.67 se observaron 42 y esperaban 34.6, con una χ^2 de 1.5669. La clase 16.00 a 19.67 presentó una frecuencia observada de 69 y una esperada de 119.3, obteniendo χ^2 4.5456. De la clase 52.67 en adelante se observaron 3 y se esperaban 8.9 con χ^2 3.9097. Para estos tres casos la frecuencia observada fue menor a la frecuencia esperada.

En la distribución gama se observa que existen en ambas colas una sensibilidad de esta prueba, por lo que indica que existe dificultad en la regeneración de la primera clase (0 a 8.67 cm). En las clases de 16.00 a 23.33 se presentan deficiencia en el número de arbolado como se aprecia en la gráfica 5, donde la función no cubre la curva de la función de densidad, por lo que provoca un mejor resultado de χ^2 . Otra gran variación se presenta en el arbolado adulto, en la clase de 52.67 en adelante que presenta un mayor número de individuos.

Otro resultado de la prueba de normalidad Kolmogorov - Smirnov para la distribución gama es que presentó un nivel de significancia de 0.125594 (tabla 9).

Tabla 9: Prueba de bondad de ajuste Kolmogorv - Smirnov para la distribución gama de *Pinus ocarpa*.

Distancia máxima	0.0233696
Distancia mínima	0.04222284
Nivel de significancia	0.125594

Para esta prueba se acepta el nivel de significancia, a pesar de que es menor este resultado en comparación con la distribución Weibull, que presentó un nivel de significancia de 0.351733 (tabla 7).

Por lo que se establece que la función de densidad de probabilidad, es mejor para la distribución Weibull, porque presentó un mejor resultado en la prueba de bondad de ajuste Kolmogorov - Smirnov.

4.7 Estructura del rodal para *Quercus resinosa*

4.7.1 Evaluación de variables para el estrato II

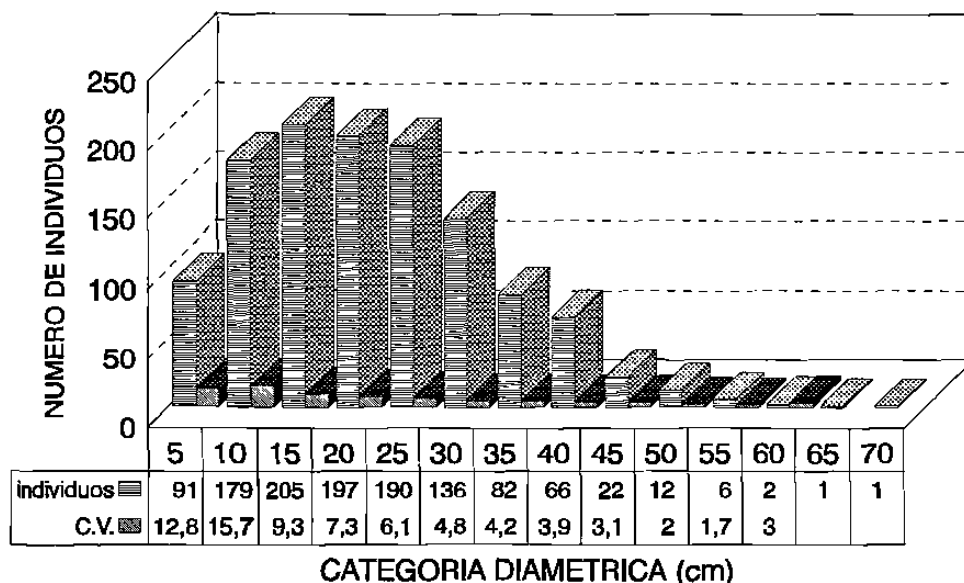
El número de individuos presentes de *Quercus resinosa* en el estrato II fue de 1190, de los cuales se obtuvo su diámetro a 1.30 m, como se muestra en la tabla 10 de medidas de tendencia central y dispersión para esta variable.

Tabla 10: Medidas de tendencia central y medidas de dispersión para la variable diámetro de *Quercus resinosa*.

Variable	Resultado
Tamaño de muestra	1190
Promedio	31.5827
Mediana	20.3
Moda	8
Media geométrica	18.7666
Varianza	118.305
Desviación estándar	10.8768
Error estándar	0.3515303
Mínimo	4.3
Máximo	68
Rango	63.7
Cuartil menor	13.2
Cuartil superior	28.3
Rango Intercuartil	15.1

De los resultados de la tabla 10, la población de *Quercus resinosa* presenta un rango de variación en diámetro a 1.30 m que oscila entre 4.3 a 68 cm, con un promedio de 21.5827 cm. A su vez, se obtuvo un valor para la desviación estándar de 10.8768 cm con una varianza de 118.305. Una mediana de 20.3 cm y una moda de 8 cm. Lo que indica que el comportamiento de la distribución

DISTRIBUCION DIAMETRICA CON COEFICIENTE DE VARIACION
Quercus resinosa. Sierra de La Primavera, Jal. Méx.



Gráfica 8: Categoría diamétrica para *Quercus resinosa*.

Como se aprecia en la gráfica 8, la población de *Q. resinosa* presenta una tendencia a las primeras categorías diamétricas, pero con la característica de que en la primera categoría de 5 cm muestra una tendencia abrupta de crecimiento con la siguiente categoría, por que se establece que entre las primeras categorías existe un exceso de arbolado. La categoría con mayor número de individuos es la categoría diamétrica de 15 con 205 individuos, (punto de inflexión).

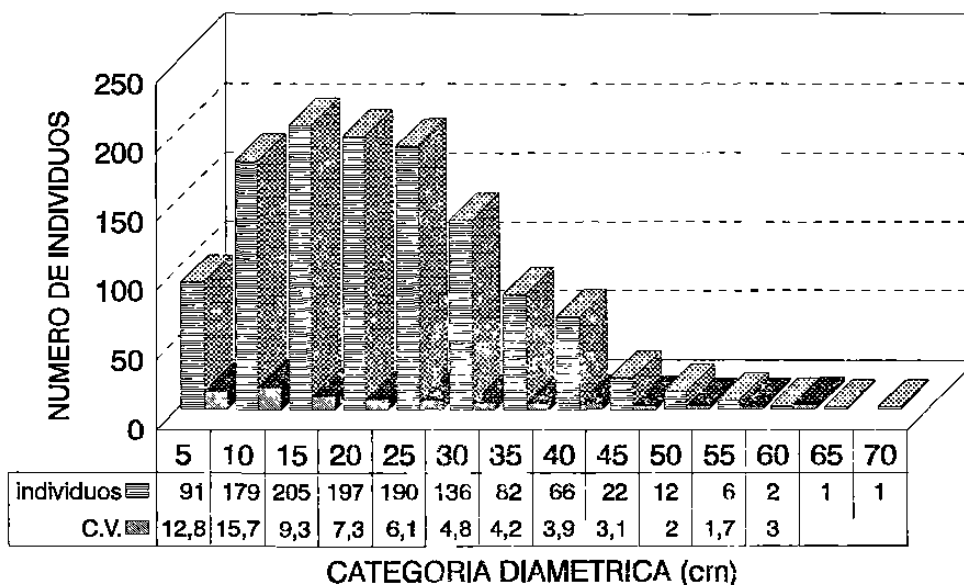
4.7.3 Estructura del rodal de *Quercus resinosa* mediante coeficiente de variación para categorías diamétricas

La finalidad de establecer el coeficiente de variación a las categorías diamétricas es para fundamentar cómo se encuentran distribuidos los datos dentro de determinada categoría, esto es, al presentarse un coeficiente de variación alto se pueden fundamentar dos criterios; uno que la distribución de información dentro de una categoría se encuentra dispersa y se presentan individuos de recién

incorporación a la categoría o que se pasarán a la siguiente categoría; el otro criterio es que existe información dispersa en toda la categoría, pero que la mayor parte se ubica en el intervalo o promedio de la categoría. Por el contrario, un coeficiente de variación bajo indica que la muestra se encuentra concentrada en una área dentro de la categoría gráfica 9.

DISTRIBUCION DIAMETRICA CON COEFICIENTE DE VARIACION

Quercus resinosa. Sierra de La Primavera, Jal. Méx.



Gráfica 9: Categoría diamétrica con coeficiente de variación para *Quercus resinosa*.

Como se observa en la gráfica anterior las primeras categorías diamétricas presentan el mayor coeficiente de variación, este es el caso para las categorías 5, 10 y 15. Esto indica que el alto coeficiente de variación se establece que para las tres categorías la información de los datos, se encuentra distribuida a lo ancho de cada categoría, lo que se deduce que para las categorías mencionadas, se encuentran individuos que se incorporan a la categoría o que pasarán a la siguiente.

4.7.4 Distribuciones probabilísticas de densidad de la estructura del rodal de *Quercus resinosa* considerando el diámetro a 1.30 m

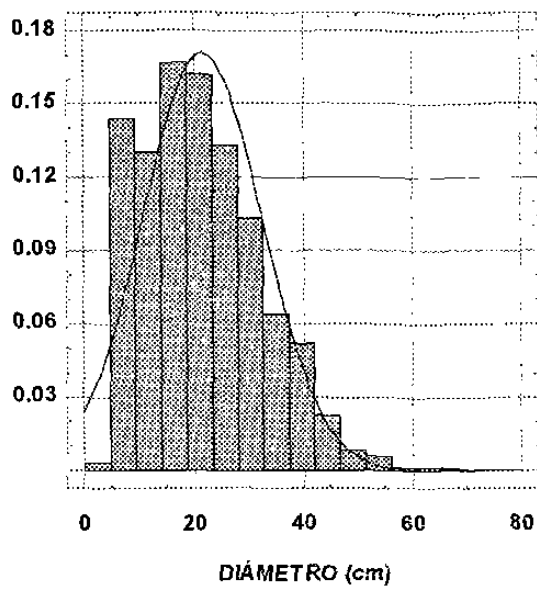
Para ser posible validar los modelos de distribución probabilística para la población de *Quercus resinosa*, fue indispensable considerar información de categorías diamétricas menores de 10 cm, con el objeto de poder partir del origen de las distribuciones.

La muestra de la población de *Quercus resinosa* presentó 722 individuos con un diámetro mayor a 10 cm, por lo que fue necesario tener información de categorías menores a la mencionada anteriormente, por lo que se procedió a obtener esta información de categoría menores a los 10 cm, con lo que se reunieron 54 individuos de este tipo. Finalmente para las pruebas de distribución de probabilidad se acumularon un total de 1190 datos.

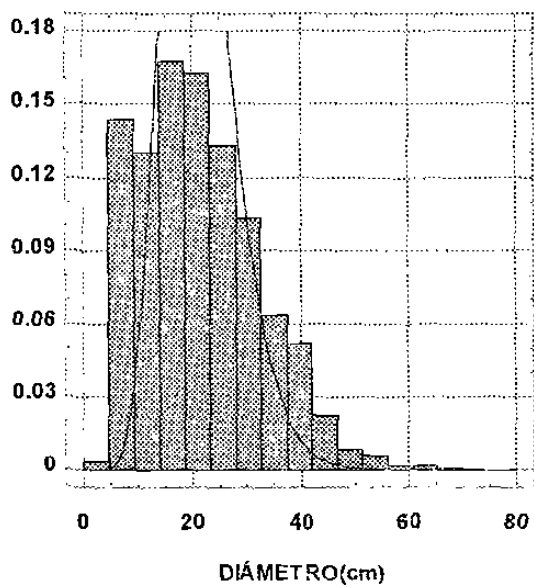
Para definir el mejor modelo fue necesario realizar pruebas de bondad de ajuste como son la prueba de χ^2 y la prueba de Kolmogorov - Smirnov.

De forma semejante a *Pinus oocarpa*, se probó un total de cinco tipos diferentes de distribuciones de probabilidad; distribución normal, distribución χ^2 , distribución gama, distribución Weibull y distribución lognormal.

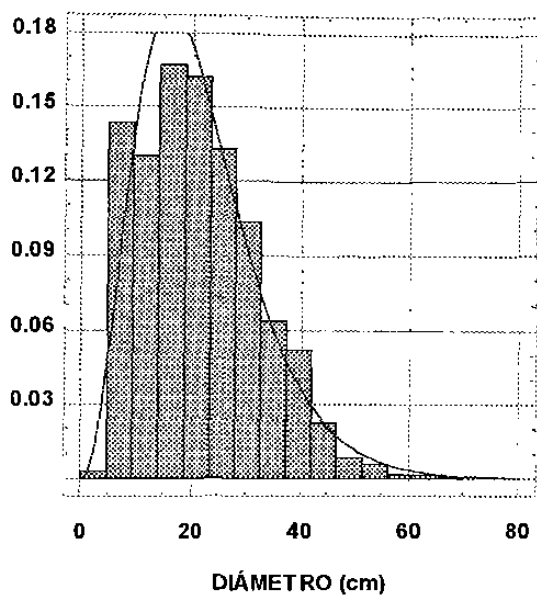
Los resultados obtenidos de las distribuciones de probabilidad de densidad con su frecuencia relativa para *Quercus resinosa* que se aplicaron se observan en las siguientes gráficas:



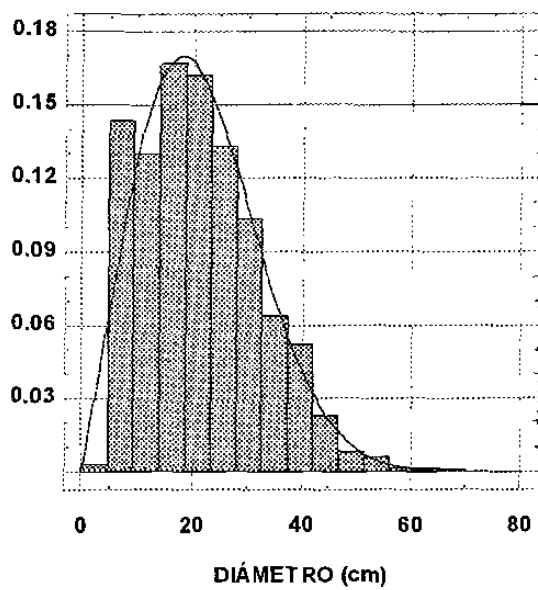
Gráfica 10: Distribución normal del diámetro para *Quercus resinosa*.



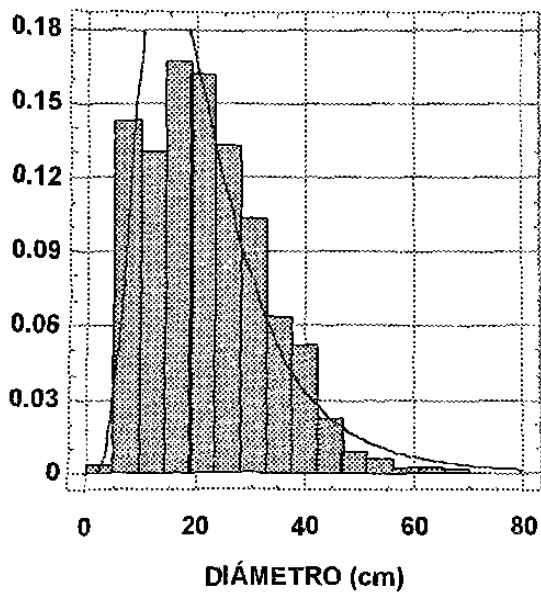
Gráfica 11: Distribución χ^2 del diámetro para *Quercus resinosa*.



Gráfica 12: Distribución gama del diámetro para *Quercus resinosa*.



Gráfica 13: Distribución Weibull del diámetro para *Quercus resinosa*.



Gráfica 14: Distribución Lognormal del diámetro para *Quercus resinosa*.

Para establecer un mejor criterio sobre el ajuste a la población de los cinco tipos de distribuciones probabilísticas a *Quercus resinosa*, se presenta en la tabla 11.

Tabla 11: Resultados de las distribuciones probabilísticas empleadas en *Quercus resinosa*.

Distribución	α	β	Media aritmética	Desv. Est	Long mín	Long max	Prueba χ^2 15 clases	Prueba Kolmogorov-Smirnov
Normal	-----	-----	21.5827	10.8768	1.115	71.185	0 9 gl.	3.47026E-4
Lognormal	-----	-----	21.8768	13.1066	1.115	71.185	0 12 gl.	memoria
Weibull	2.1132	24.439	-----	-----	1.115	71.185	4.55506E-11 9 gl.	0.202645
Gama	3.7340	0.173013	-----	-----	1.115	71.185	1.05035E-10 11 gl.	0.270044
χ^2	-----	-----	21.5827 8 gl.	-----	1.115	71.185	0 7 gl.	0

En la tabla 11 se indican los resultados obtenidos de las cinco tipos de distribuciones de probabilidad de densidad empleados a *Quercus resinosa* con 15 clases. En ésta tabla se destaca, por su resultado las pruebas de bondad de ajuste de Kolmogorov - Smirnov, la distribución Weibull con un resultado de nivel de significancia de 0.202645, otra de las distribuciones que presentó buen resultado fue la distribución gama, en su prueba de bondad de ajuste Kolmogorov-Smirnov, con un nivel de significancia de 0.0270044.

La distribución Weibull en su prueba de bondad de ajuste χ^2 no presentó un buen nivel de significancia, debido a que en las primeras categorías diamétricas existe un exceso y deficiencia de individuos. En la tabla 12 se muestra esta situación.

Tabla 12: Prueba de bondad de ajuste χ^2 para la distribución Weibull de *Quercus resinosa*.

Límite mínimo	Límite máximo	Frecuencia observada	Frecuencia esperada	χ^2
menor de 0	4.67	4	35.4	27.886177
4.67	9.33	171	110.5	33.187209
9.33	14.00	155	169.6	1.264285
14.00	18.67	199	198.7	.000462
18.67	23.33	193	195.2	.025168
23.33	28.00	158	166.8	.460382
28.00	32.67	123	126.0	.070513
32.67	37.33	76	84.9	.939931
37.337	42.00	62	51.4	2.198458
42.00	46.67	27	28.0	.033335
46.67	51.33	10	13.7	1.012493
Arriba de 51.33		12	9.8	.490096

$\chi^2 = 67.5685$ con 9 grados de libertad Nivel de significancia 4.55506E-11

Como se aprecia en la tabla 12 de la prueba de bondad de ajuste χ^2 para *Quercus resinosa*, la mayor variación de esta prueba resulta de las dos primeras frecuencias, esto es de 0 a 4.67, con un resultado de χ^2 de 27.886177. Esta diferencia se debió a que se presentó una frecuencia observada de 4 individuos y se esperaba una

frecuencia de 35.4 individuos. La otra clase que presentó mayor variación es la clase de 4.67 a 9.33 de la que se observó una frecuencia de 171 y se esperaba una frecuencia de 110.5, lo que arrojó un resultado de χ^2 de 33.187209.

De estas dos clases se deduce que falta individuos en las categorías menores, de lo que se establece que existen problemas de regeneración para *Quercus resinosa*.

Las otras clases respectivas no se muestran grandes variaciones en lo referente a frecuencia observada y la frecuencia esperada. La clase con mayor número de individuos o a la denominada como de inflexión de la distribución, se ubica entre la clase 14.00 y 18.67.

Otra prueba de bondad de ajuste fue la Kolmogorov - Smirnov que se aplicó a la distribución Weibull de la población de *Quercus resinosa*, la cual se destacó por el buen nivel de significancia que presenta en la tabla 13.

Tabla 13: Prueba de bondad de ajuste Kolmogorov Smirnov para la distribución Weibull de *Quercus resinosa*.

Distancia máxima	0.0305055
Distancia mínima	0.0010083
Nivel de significancia	0.202645

De acuerdo al resultado de la tabla anterior el nivel de significancia 0.202645 se acepta la prueba de bondad de ajuste Kolmogorov - Smirnov para la distribución Weibull. Las distancia máximas y distancia mínimas proporcionan información sobre la variación existente de esta prueba de bondad de ajuste de la distribución Weibull.

Los resultados de la prueba de bondad de ajuste de χ^2 de la distribución gama se presenta en la tabla 14, χ^2 en la que las pruebas no arrojó resultados aceptables del nivel de significancia, y en cambio la prueba de normalidad de Kolmogorov - Smirnov

si presentó un bajo nivel de significancia. En la tabla 14 se muestra el resultado de la prueba de bondad de ajuste.

Tabla 14: Prueba de bondad de ajuste χ^2 para la distribución gama de *Quercus resinosa*.

Límite menor	Límite máximo	Frecuencia observada	Frecuencia esperada	χ^2
Debajo de 0	4.67	4	17.6	10.550
4.67	9.33	171	110.5	33.087
9.33	14.00	155	197.7	9.2251
14.00	18.67	199	222.5	2.47518
18.67	23.33	193	198.3	.14175
23.33	28.00	158	153.7	.11811
28.00	32.67	123	108.6	1.90264
32.67	37.33	76	71.8	.24162
37.33	42.00	62	45.2	6.23720
42.00	46.67	27	27.4	.00520
46.67	51.33	10	16.1	2.29713
51.33	56.00	7	9.2	.52898
56.00	60.67	2	5.2	1.93799
Arriba de 60.67		3	6.1	1.59598

$\chi^2 = 70.3451$ con 11 grados de libertad Nivel de significancia = 1.05035E-10

Como se aprecia en esta tabla de prueba de bondad de ajuste χ^2 , para la distribución gama presentó grandes diferencias entre las frecuencias observadas y las esperadas. Dicho resultados se observa en la clase menor de 0 a 4.67 con 4 valores observados y una frecuencia esperada de 17.6 con una χ^2 de 10.55035; la clase 4.67 a 9.33 presentó una frecuencia observada de 171 y una frecuencia esperada de 110.5, obteniendo χ^2 33.08787. Estas dos clases y principalmente la segunda clase provocó la mayor variación, lo que ocasionó un nivel de significancia bajo. La clase que presentó mayor de individuos fue la 14.00 a 18.67 con 199 individuos, una frecuencia esperada de 222.5 y un resultado de χ^2 2.47518. Las clases mayores presentaron valores de χ^2 aceptables, lo cual no originó el rechazo de esta prueba de bondad de ajuste.

En esta distribución probabilística en sus primeras clases se presenta congruencia estadísticas entre la frecuencia observada y la frecuencia esperada, lo que provocó el rechazo de la prueba, esto indica que la primera clase se presenta una deficiencia de arbolado, por el contrario en la segunda clase excede de arbolado a lo esperado. Otro resultado de la prueba de normalidad fue Kolmogorv - Smirnov a la distribución gama que presentó un nivel de significancia aceptable de 0.0270044. Dicho resultado se observa en la tabla 15.

Tabla 15: Prueba de bondad de ajuste Kolmogorov-Smirnov para la distribución gama de *Quercus resinosa*

Distancia máxima	0.0425298
Distancia mínima	0.0354994
Nivel de significancia	0.0270044

Esta prueba de bondad de ajuste no es aceptada por su nivel de significancia de 0.0270044, las distancias máximas excede de la distribución empírica acumulada por un máximo de 0.025298 y cae por debajo ésta por un máximo de 0.0354994. La significancia sobre el máximo es también de 0.0270044, lo que indica que la distribución hipotetizada no es correcta.

Para esta prueba no se acepta el nivel de significancia, a pesar que es mayor éste resultado que el de la distribución Weibull, que presentó un nivel de significancia de $0.05035 \text{ E } -10$.

Por lo anterior se establece que la función de densidad de probabilidad se ajusta mejor a la prueba de bondad de ajuste por su nivel de significancia a la distribución Weibull. En lo que respecta al mejor ajuste entre las distribuciones de probabilidad Weibull y gama, por su prueba de bondad de ajuste Kolmogorv - Smirnov, es la distribución Weibull porque presentó un resultado adecuado en la prueba de bondad de ajuste Kolmogorov - Smirnov.

4.8 RESULTADO DE LA CALIDAD DE SITIO PARA *Pinus oocarpa*

Del inventario forestal Continuo realizado en el año (1990-1993) en el Campo Experimental Bosque Escuela, se obtuvieron 150 muestras de cilindros de madera mediante el taladro de Pressler, donde se seleccionaron árboles dominantes y árboles codominantes en cada sitio.

4.8.1 Categorización de la altura

En lo referente a la categorización en altura, se aplicaron rangos con una oscilación de 1.9 m, a partir de los 6.4 m y hasta una altura de 20.1 m, dando un total de 7 rangos de altura tabla 16.

Tabla 16: Categorías de altura de *Pinus oocarpa*.

Rango de la altura (m)	Número de individuos	Por ciento (%)
6.4 - 8.4	15	10
8.5 - 10.4	27	18
10.5 - 12.4	37	24.66
12.5 - 14.4	36	24
14.5 - 16.4	26	17.33
16.5 - 18.4	8	5.33
18.5 - 20.1	1	0.66

Como se aprecia en la tabla anterior, se destaca la presencia de alturas a partir de 6.4 m a los 20.1 m, pero el 83.99 % de los individuos se encuentran entre el rango de 8.5 m a 16.4 m, siendo los de mayor porcentaje los que ocupan los rangos de 10.5 m a 12.4 m con un 24.66 % y el rango de 12.5 a 14.4 con 24 %. A partir de los 16.5 m, el porcentaje de la población disminuye.

4.8.2 Categorización de la edad

Con respecto a la edad se presentó información desde los 19 a los 78 años, por lo que se categorizaron en 8 clases, con rangos de 8 años (tabla 17).

Tabla 17: Categorías de edad de *Pinus cocarpa*.

Rango de la edad (años)	Número de individuos	Por ciento (%)
18 - 26	4	2.66
26 - 34	17	11.33
34 - 42	52	34.66
42 - 50	40	26.66
50 - 58	32	21.33
58 - 66	4	2.66
66 - 74	0	0
74 - 82	1	.6666

En la tabla 17 se observa que en la primera categoría (18 - 26 años) y en las dos últimas categorías (66 a 82 años) sus porcentaje con respecto a la población fueron bajos.

El rango con mayor porcentaje (34.66 %) se encuentra entre los 34 - 42 años y con el 26.66 % se encuentra el rango de 42 - 50 años. Otro rango por mencionar es el de 50 - 58 con el 21.33 %. El mayor porcentaje se ubica entre los rangos de edad de 34 a 58 con un porcentaje de la población de 82.65 %.

4.8.3 Modelos matemáticos para determinar la calidad de sitio

De los tres modelos matemáticos utilizados en este trabajo, resultados favorables, si se consideran varios criterios, como gran variación existente entre la altura con respecto a la edad.

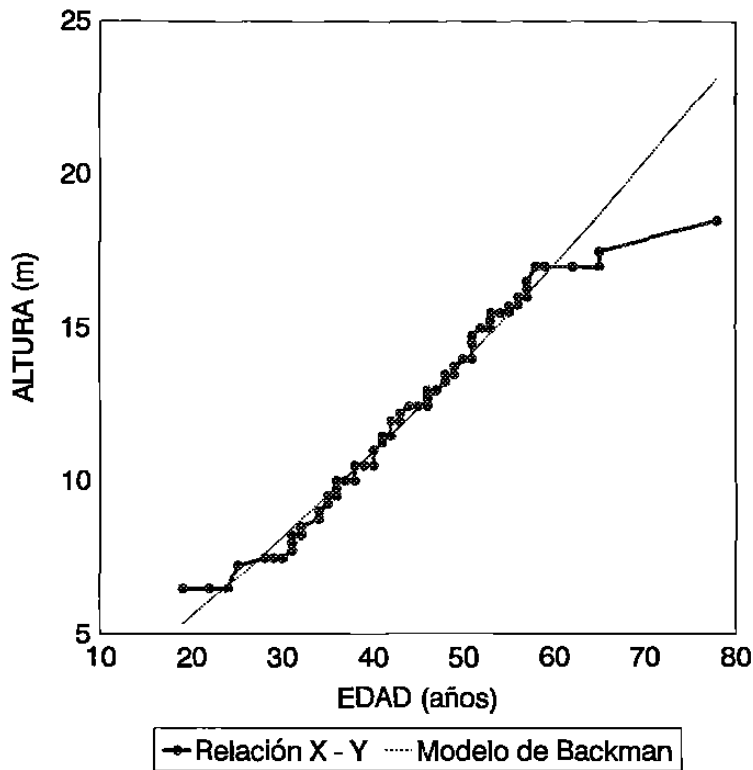
De estos tres modelos matemáticos se obtuvieron los siguientes resultados con sus correspondientes parámetros tabla 18.

Tabla 18: Coeficientes de los modelos empleados para determinar la calidad de sitio de *Pinus oocarpa*.

Modelo	r^2	a_0	a_1	a_2	Syx
$h = \exp (a_0 + a_1 * \ln t + a_2 * \ln t^2)$	99.98	0.248598	0.108504	-----	0.037636
$\ln h = a_0 + a_1 (1/t)$	92.22	3.406909	-39.084608	-----	0.0661453
$h = a_0 [1 - \exp (-a_1 e)] [(1 - (-a_2)^{-1})]$	97.93	29.7019	0.0211232	0.42904	MAE 5.04966E-3

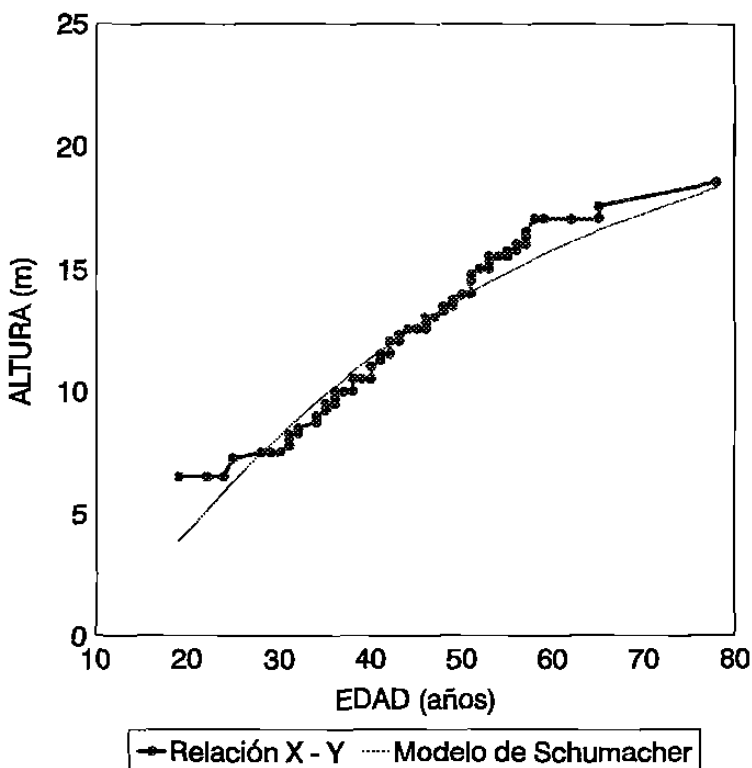
Como se aprecia en la tabla anterior, para los tres modelos matemáticos se presentan coeficientes de determinación altos, el error estándar de la estimación son aceptables. Otros de los criterios a considerar es la tendencia de la curva de cada uno de los modelos (Gráficas 15, 16 y 17). Además se observan de los tres modelos matemáticos la tendencia del su origen o sea (a_0) con una gran diferencia para éstos modelos.

El modelo de Backman presentó un coeficiente de determinación de 99.98 con un error estándar de 0.037636. Este resultado es adecuado, pero al observar la tendencia de la curva con respecto a la relación edad en función de la altura, se puede mencionar que el origen de la curva con respecto a la información presenta un desplazamiento y además la curva del modelo no representa la tendencia de los datos. A su vez, el coeficiente de determinación es adecuado y se debe a que la edad de los 25 a los 57 años la tendencia del modelo se presenta un buen ajuste con respecto a la base de datos. Además se observa que antes de 25 años el origen de la curva del modelo se encuentra por debajo de la información, y como se mencionó antes de 57 años se presenta un mal ajuste ya que el modelo lineal aplicado presenta un comportamiento distinto a la información de la relación edad - altura.



Gráfica 15: Comportamiento de la curva del modelo de Backman.

El comportamiento de la tendencia de la curva del modelo de Schumacher presenta un r^2 de 92.22, con un error estándar de 0.061453. El comportamiento de la curva con respecto a la información presenta variaciones entre los 19 a los 28 años, así como también de los 28 años a los 51 años se presenta un buen ajuste del modelo.

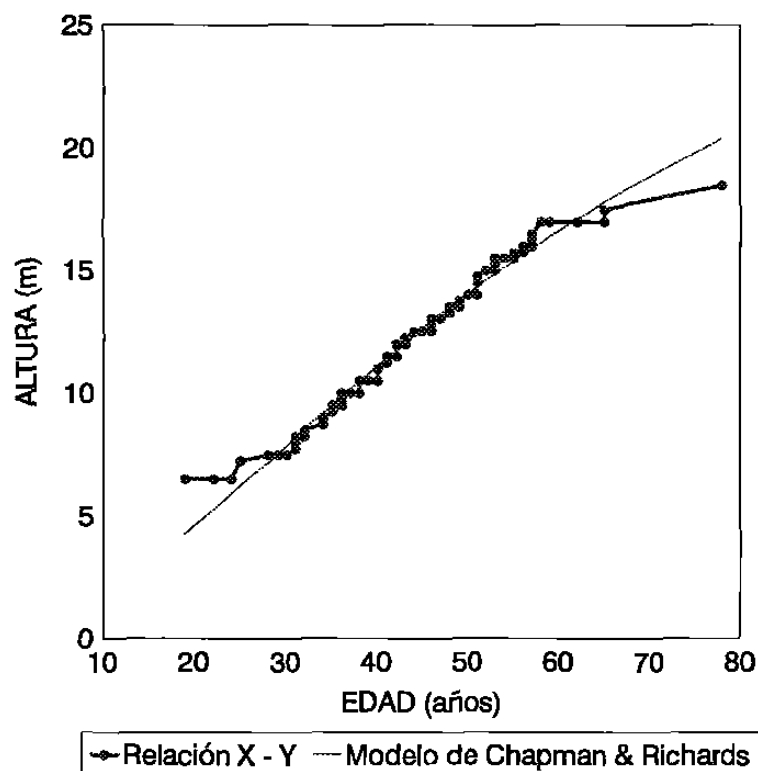


Gráfica 16: Comportamiento de la curva del modelo de Schumacher.

Sobre el modelo de Chapman - Richards, la tendencia de la curva del modelo presentó un r^2 de 97.93 y un S_{yx} de $5.04966E-3$. El modelo presenta un buen ajuste entre los 29 a 57 años. Posteriormente a los 65 años el modelo se ajusta a la tendencia de la curva, pero se presentan algunas deficiencias en el ajuste del modelo. Un mal ajuste del modelo se presenta de los 19 a 28, ya que el origen del modelo parte por abajo de la información (gráfica 17).

Por los resultados obtenidos de los parámetros y el comportamiento de las curvas, se establece que el mejor modelo para determinar la calidad de estación para *Pinus oocarpa* en la Sierra de La Primavera, es el modelo de Schumacher que presentó un coeficiente de determinación de 92.22, siendo menor al modelo de Chapman - Richards en su r^2 de 97.65, por el contrario el

modelo no lineal de Backman presentó un r^2 de 97.56. Debido que éstos dos últimos modelos matemáticos presentaron una gran diferencia entre su comportamiento de tendencia de la curva de su origen no se seleccionaron.



Gráfica 17: Comportamiento de la curva del modelo de Chapman & Richards.

4.9 Construcción analítica gráfica del índice de sitio

De los modelos matemáticos empleados se aceptó el de Schumacher para establecer la curva guía. Lo anterior por presentar un buen coeficiente de determinación, un menor error estándar de la estimación y una mejor tendencia del extremo del modelo matemático.

5. Determinación de la edad base

Para el establecimiento de la edad base se utiliza el cruzamiento de las líneas del incremento medio anual (ima) e incremento corriente anual (ica). Esto es posible obtenerlo cuando se obtiene la información de análisis troncal.

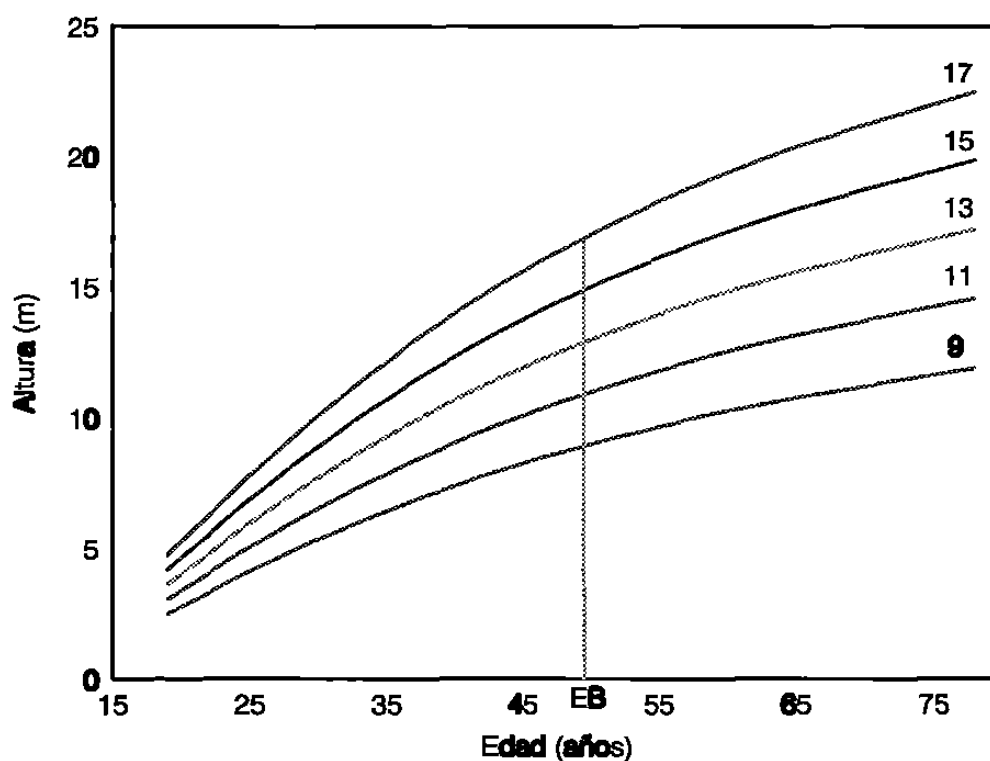
Debido a que la información que se obtuvo un dato por árbol no se tiene toda la información del crecimiento del individuos y no es posible establecer el procedimiento antes mencionado, la información obtenida fue mediante muestras de cilindros de madera de árboles dominantes o codominantes de los sitios en el Campo Experimental Bosque Escuela, por lo que para establecer la edad base se realizó la observación de la curva y se encontró un promedio de 50 años, por lo que se consideró este último como edad base. A esta edad base en la curva guía se presentó una altura de 13.80756 m a la que fue necesario ajustarla a 13 m mediante coeficientes de proporcionalidad.

5.1 Construcción de curvas de calidad de sitio

Desarrollando la curva guía, se procedió a establecer la variación existente a la edad base de 50 años con respecto a las alturas presente en esta edad, encontrándose entre alturas de 9.5 m a 17.9 m los que indica una diferencia de alturas de 8.4 m. Con lo anterior se determinó la formación de 4 curvas de índice de sitio, con una variación de 1.9 m, por lo que se acordó establecer una diferencia entre curvas de 2 m.

Posteriormente se realizaron cinco índices de sitio para *Pinus*. Por lo que la calidad V fue de 9 m, calidad IV de 11 m, calidad III de 13 m, calidad II de 15 m,

y calidad I de 17 m, a la edad base de 50 años como se aprecia en la gráfica 18.



Gráfica 18: Índice de sitio para *Pinus oocarpa*.

Posteriormente se realizó un procesamiento tabular (tabla 19) de las alturas correspondiente a cada índice de sitio.

Tabla 19: Valores de altura que establecen cada curva de calidad de sitio de *Pinus oocarpa* Schiede en La Sierra de La Primavera, Jal..

Edad (años)	CALIDADES DE ESTACIÓN				
	I	II	III	IV	V
10	0.7456	0.6578	.5701	0.4824	0.3947
20	5.2628	4.6436	1.0245	3.4053	2.7862
30	10.0954	8.9077	7.7200	6.5323	5.3446
40	13.9822	12.3372	10.6923	9.0473	7.4023
50	17.0	15.0	13.0	11.0	9.0
60	19.3655	17.0872	14.8089	12.5306	10.2523
70	21.2542	18.7536	16.2532	13.7527	11.2522
80	22.7906	20.1093	17.4281	14.74	12.0651
90	24.0619	21.2311	18.40	15.56	12.7386

Por último, se procedió a considerar cómo se ubican las calidades de sitio con respecto al estrato II del Campo Experimental Bosque Escuela, con la finalidad de establecer la productividad de *Pinus oocarpa* de la región Sierra de La Primavera, Jalisco. México. El estrato II contó con un total de 722 individuos de *Pinus oocarpa*, de los cuales presentaron alturas entre 1.5 m y 25 m, definiendo que se encuentra por abajo de la calidad de sitio V y superior a la calidad I.

De los árboles muestras de *Pinus oocarpa*, 263 individuos presentaron alturas por abajo de 8 m y se encontraron 14 árboles mayores de 18.1 m que es el rango de la calidad I, esto se debe a que se localizaron en cárcavas muy cerradas y con condiciones de buena humedad.

5.2 VOLUMEN PARA *Pinus oocarpa*

5.3 Determinación de volumen

Para estimar el volumen fue necesario realizar mediciones con el telerrelascopio de Bitterlich para determinar el volumen de 59 árboles. De los resultados obtenidos se realizó el empleo de 13 modelos de regresión lineal y múltiple para la construcción de una tabla volumétrica de la especie en cuestión.

5.4 Definición y estimación volumétrica individual

Como primer paso de la información obtenida mediante el empleo del telerrelascopio de Bitterlich se procedió a obtener para cada árbol su diámetros y alturas mediante el cálculo de UT y alturas respectivas con la finalidad de tener la estructura real del fuste, el procedimiento a obtener el volumen a partir

del área basal de cada diámetro y su longitud mediante la fórmula de Smalian. El volumen de la punta se obtuvo mediante la fórmula del cono al cual se le adicionó al volumen total de la troza.

5.5 Construcción de una tabla volumétrica

Para la elaboración de una tabla volumétrica fue necesario la cubicación de 59 árboles de la especie de *Pinus oocarpa* con diferentes diámetros y alturas como fue posible, con éstos volúmenes se procedió aplicar 13 modelos de regresión lineal como múltiple.

Tabla 22: Modelos matemáticos para la estimación volumétrica de *Pinus oocarpa*.

Modelo	r^2	Sxy	N
1. $v = a_0 + a_1 d$	89.59	69.88 %	1
2. $v = \exp(a_0 + a_1 d)$	81.83	66.97 %	1
3. $v = a_0 + a_1 d^2 + h$	94.36	89.05 %	2
4. $v = a_0 + a_1 * d_2 + a_2 * d^2 h + a_3 * h^2 + a_4 * dh^2$	94.51	89.33 %	4
5. $v = a_0 * d$	78.05	60.93 %	1
6. $v = a_0 + a_1 d^2$	82.97	68.84 %	1
7. $v = a_0 * (d^2 * h)$	93.53	87.48 %	1
8. $v = a_0 * d^{a_1}$	83.53	69.78 %	1
9. $v = a_0 + a_1 * d + a_2 * (j * h) + a_3 * d^2 + a_4 * h + a_5 * (d^2 * h)$	94.54	89.39 %	5
10. $v = a_0 + a_1 * (d^2) + a_2 * h + a_3 * (d^2 * h)$	94.53	89.37 %	3
11. $v = a_0 * h + a_1 * (j * h) + a_2 * (d^2 * h)$	94.50	89.30 %	3
12. $v = a_0 * (d * h)$	89.07	79.35 %	1

13. $v = a_0 * d^2$	81.62	66.62 %	1
---------------------	-------	---------	---

Para facilitar el manejo de la tabla anterior se mencionan las siguientes consideraciones:

v = volumen

d = diámetro a 1.30 m

h = altura total

f = coeficiente de forma o coeficiente mórfico

$a_0, a_1, a_2, a_3, a_4, a_5$ = coeficientes de la regresión

El modelo considerado para la construcción de la tabla de volumen para *Pinus oocarpa* en la Sierra de La Primavera, Jal. fue el modelo 10 por presentar resultados adecuados como r^2 , Sxy y el empleo del número de variables. El modelo es práctico, sencillo y fácil de aplicar.

Con el modelo seleccionado se realizó una tabla de volumen para la especie en cuestión, estableciendo la relación diámetro - altura, como base para su elaboración (tabla 24).

Diámetro (cm)	Altura (m)					
	2	3	4	5	6	7
5	0.0086	0.0122	0.0157	0.0193	0.0229	0.0265
6	0.0095	0.0134	0.0173	0.0212	0.0251	0.0290
7	0.0106	0.0148	0.0191	0.0233	0.0276	0.0319
8	0.0118	0.0165	0.0212	0.0258	0.0305	0.0352
9	0.0132	0.0184	0.0235	0.0287	0.0338	0.0390
10	0.0148	0.0205	0.0262	0.0319	0.0375	0.0432
11	0.0165	0.0228	0.0291	0.0354	0.0416	0.0479
12		0.0254	0.0323	0.0392	0.0461	0.0530
13		0.0281	0.0358	0.0434	0.0510	0.0586
14			0.0395	0.0479	0.0563	0.0646
15			0.0435	0.0527	0.0619	0.0711
16			0.0479	0.0579	0.0680	0.0780
17			0.0524	0.0634	0.0744	0.0854
18			0.0573	0.0693	0.0812	0.0932
19			0.0624	0.0754	0.0884	0.1014
20				0.0820	0.0960	0.1101
21					0.1040	0.1193
22					0.1124	0.1289
23					0.1212	0.1389
24					0.1304	0.1494
25					0.1399	0.1603
26						0.1717
27						0.1835
28						0.1958
29						0.2085
30						0.2216
31						0.2352
32						0.2493
33						0.2638
34						0.2787
35						0.2941
36						0.3099
37						0.3262
38						0.3429
39						0.3601
40						0.3777

Diámetro (cm)	Altura (m)					
	8	9	10	11	12	13
5	0.0301	0.0337	0.0373	0.0409	0.0444	0.0480
6	0.0329	0.0367	0.0406	0.0445	0.0484	0.0523
7	0.0361	0.0404	0.0446	0.0489	0.0532	0.0574
8	0.0399	0.0446	0.0492	0.0539	0.0586	0.0633
9	0.0441	0.0493	0.0545	0.0596	0.0648	0.0699
10	0.0489	0.0546	0.0603	0.0660	0.0717	0.0774
11	0.0542	0.0605	0.0667	0.0730	0.0793	0.0856
12	0.0600	0.0669	0.0738	0.0807	0.0876	0.0946
13	0.0662	0.0739	0.0815	0.0891	0.0967	0.1043
14	0.0730	0.0814	0.0898	0.0981	0.1065	0.1149
15	0.0803	0.0895	0.0987	0.1079	0.1170	0.1262
16	0.0881	0.0981	0.1082	0.1182	0.1283	0.1383
17	0.0964	0.1073	0.1183	0.1293	0.1403	0.1513
18	0.1051	0.1171	0.1291	0.1410	0.1530	0.1649
19	0.1144	0.1274	0.1404	0.1534	0.1664	0.1794
20	0.1242	0.1383	0.1524	0.1665	0.1806	0.1947
21	0.1345	0.1497	0.1650	0.1802	0.1954	0.2107
22	0.1453	0.1617	0.1782	0.1946	0.2111	0.2275
23	0.1566	0.1743	0.1920	0.2097	0.2274	0.2451
24	0.1684	0.1874	0.2064	0.2254	0.2445	0.2635
25	0.1807	0.2011	0.2215	0.2419	0.2622	0.2826
26	0.1935	0.2153	0.2371	0.2589	0.2808	0.3026
27	0.2068	0.2301	0.2534	0.2767	0.3000	0.3233
28	0.2206	0.2454	0.2703	0.2951	0.3200	0.3448
29	0.2349	0.2613	0.2878	0.3142	0.3406	0.3671
30	0.2497	0.2778	0.3059	0.3340	0.3621	0.3902
31	0.2650	0.2948	0.3246	0.3544	0.3842	0.4140
32	0.2808	0.3124	0.3440	0.3755	0.4071	0.4386
33	0.2972	0.3305	0.3639	0.3973	0.4307	0.4641
34	0.3140	0.3492	0.3845	0.4197	0.4550	0.4902
35	0.3313	0.3685	0.4057	0.4429	0.4800	0.5172
36	0.3491	0.3883	0.4275	0.4666	0.5058	0.5450
37	0.3674	0.4087	0.4499	0.4911	0.5323	0.5735
38	0.3863	0.4296	0.4729	0.5162	0.5595	0.6029
39	0.4056	0.4511	0.4965	0.5420	0.5875	0.6330
40	0.4254	0.4731	0.5208	0.5685	0.6162	0.6639
41	0.4457	0.4957	0.5457	0.5956	0.6456	0.6955
42	0.4666	0.5189	0.5711	0.6234	0.6757	0.7280
43	0.4879	0.5426	0.5972	0.6519	0.7066	0.7612
44	0.5098	0.5668	0.6239	0.6810	0.7381	0.7952
45	0.5321	0.5917	0.6513	0.7109	0.7704	0.8300
46	0.5549	0.6171	0.6792	0.7413	0.8035	0.8656
47	0.5783	0.6430	0.7078	0.7725	0.8372	0.9020
48	0.6021	0.6695	0.7369	0.8043	0.8717	0.9391
49	0.6265	0.6966	0.7667	0.8368	0.9069	0.9770
50	0.6513	0.7242	0.7971	0.8700	0.9429	1.0158

Diámetro (cm)	Altura (m)					
	8	9	10	11	12	13
51		0.7524	0.8281	0.9038	0.9795	1.0552
52		0.7811	0.8597	0.9383	1.0169	1.0955
53			0.8920	0.9735	1.0550	1.1366
54			0.9248	1.0093	1.0939	1.1784
55	0.7831	0.8707	0.9583	1.0459	1.1334	1.2210
56	0.8110	0.9016	0.9923	1.0830	1.1737	1.2644
57	0.8393	0.9332	1.0270	1.1209	1.2148	1.3086
58	0.8682	0.9653	1.0623	1.1594	1.2565	1.3536
59	0.8975	0.9979	1.0983	1.1986	1.2990	1.3993
60	0.9274	1.0311	1.1348	1.2385	1.3422	1.4459

Diámetro (cm)	Altura (m)					
	14	15	16	17	18	19
10	0.0830	0.0887				
11	0.0918	0.0981	0.1044			
12	0.1015	0.1084	0.1153			
13	0.1120	0.1196	0.1272			
14	0.1233	0.1316	0.1400			
15	0.1354	0.1446	0.1538	0.1630		
16	0.1484	0.1585	0.1685	0.1786		
17	0.1622	0.1732	0.1842	0.1952		
18	0.1769	0.1889	0.2008	0.2128	0.2247	
19	0.1924	0.2054	0.2184	0.2314	0.2444	0.2574
20	0.2087	0.2228	0.2369	0.2510	0.2651	0.2792
21	0.2259	0.2412	0.2564	0.2716	0.2869	0.3021
22	0.2439	0.2604	0.2768	0.2933	0.3097	0.3261
23	0.2628	0.2805	0.2982	0.3159	0.3336	0.3513
24	0.2825	0.3015	0.3205	0.3395	0.3585	0.3776
25	0.3030	0.3234	0.3438	0.3642	0.3846	0.4050
26	0.3244	0.3462	0.3680	0.3898	0.4116	0.4335
27	0.3466	0.3699	0.3932	0.4165	0.4398	0.4631
28	0.3696	0.3945	0.4193	0.4442	0.4690	0.4938
29	0.3935	0.4200	0.4464	0.4728	0.4993	0.5257
30	0.4182	0.4463	0.4744	0.5025	0.5306	0.5587
31	0.4438	0.4736	0.5034	0.5332	0.5630	0.5928
32	0.4702	0.5018	0.5333	0.5649	0.5964	0.6280
33	0.4974	0.5308	0.5642	0.5976	0.6309	0.6643
34	0.5255	0.5608	0.5960	0.6313	0.6665	0.7018
35	0.5544	0.5916	0.6288	0.6660	0.7032	0.7404
36	0.5842	0.6233	0.6625	0.7017	0.7409	0.7800
37	0.6148	0.6560	0.6972	0.7384	0.7796	0.8208
38	0.6462	0.6895	0.7328	0.7761	0.8195	0.8628
39	0.6784	0.7239	0.7694	0.8149	0.8603	0.9058
40	0.7115	0.7592	0.8069	0.8546	0.9023	0.9500
41	0.7455	0.7954	0.8454	0.8953	0.9453	0.9953
42	0.7803	0.8325	0.8848	0.9371	0.9894	1.0417
43	0.8159	0.8705	0.9252	0.9798	1.0345	1.0892
44	0.8523	0.9094	0.9665	1.0236	1.0807	1.1378
45	0.8896	0.9492	1.0088	1.0684	1.1280	1.1876
46	0.9277	0.9899	1.0520	1.1141	1.1763	1.2384
47	0.9667	1.0315	1.0962	1.1609	1.2257	1.2904
48	1.0065	1.0739	1.1413	1.2087	1.2761	1.3435
49	1.0472	1.1173	1.1874	1.2575	1.3276	1.3977
50	1.0886	1.1615	1.2344	1.3073	1.3802	1.4531
51	1.1310	1.2067	1.2824	1.3581	1.4338	1.5095
52	1.1741	1.2527	1.3313	1.4099	1.4885	1.5671

Diámetro			Altura (m)			
53	1.2181	1.2997	1.3812	1.4627	1.5443	1.6258
54	1.2629	1.3475	1.4320	1.5165	1.6011	1.6856
55	1.3086	1.3962	1.4838	1.5714	1.6590	1.7466
56	1.3551	1.4458	1.5365	1.6272	1.7179	1.8086
57	1.4025	1.4963	1.5902	1.6840	1.7779	1.8718
58	1.4507	1.5477	1.6448	1.7419	1.8390	1.9361
59	1.4997	1.6000	1.7004	1.8007	1.9011	2.0015
60	1.5495	1.6532	1.7569	1.8606	1.9643	2.0680

Diámetro (cm)	Altura (m)					
	20	21	22	23	24	25
19	0.2704	0.2834	0.2964	0.3094	0.3223	0.3353
20	0.2933	0.3073	0.3214	0.3355	0.3496	0.3637
21	0.3173	0.3326	0.3478	0.3630	0.3783	0.3935
22	0.3426	0.3590	0.3754	0.3919	0.4083	0.4248
23	0.3690	0.3867	0.4044	0.4221	0.4398	0.4575
24	0.3966	0.4156	0.4346	0.4536	0.4726	0.4916
25	0.4253	0.4457	0.4661	0.4865	0.5069	0.5273
26	0.4553	0.4771	0.4989	0.5207	0.5425	0.5643
27	0.4864	0.5097	0.5330	0.5563	0.5796	0.6029
28	0.5187	0.5435	0.5683	0.5932	0.6180	0.6429
29	0.5521	0.5786	0.6050	0.6314	0.6579	0.6843
30	0.5868	0.6148	0.6429	0.6710	0.6991	0.7272
31	0.6226	0.6524	0.6822	0.7120	0.7417	0.7715
32	0.6596	0.6911	0.7227	0.7542	0.7858	0.8173
33	0.6977	0.7311	0.7645	0.7978	0.8312	0.8646
34	0.7370	0.7723	0.8075	0.8428	0.8781	0.9133
35	0.7775	0.8147	0.8519	0.8891	0.9263	0.9635
36	0.8192	0.8584	0.8976	0.9367	0.9759	1.0151
37	0.8621	0.9033	0.9445	0.9857	1.0269	1.0682
38	0.9061	0.9494	0.9927	1.0360	1.0794	1.1227
39	0.9513	0.9968	1.0422	1.0877	1.1332	1.1787
40	0.9977	1.0453	1.0930	1.1407	1.1884	1.2361
41	1.0452	1.0952	1.1451	1.1951	1.2450	1.2950
42	1.0939	1.1462	1.1985	1.2508	1.3030	1.3553
43	1.1438	1.1985	1.2531	1.3078	1.3625	1.4171
44	1.1949	1.2520	1.3091	1.3662	1.4233	1.4804
45	1.2471	1.3067	1.3663	1.4259	1.4855	1.5451
46	1.3006	1.3627	1.4248	1.4870	1.5491	1.6112
47	1.3551	1.4199	1.4846	1.5494	1.6141	1.6788
48	1.4109	1.4783	1.5457	1.6131	1.6805	1.7479
49	1.4678	1.5380	1.6081	1.6782	1.7483	1.8184
50	1.5260	1.5988	1.6717	1.7446	1.8175	1.8904
51	1.5852	1.6610	1.7367	1.8124	1.8881	1.9638
52	1.6457	1.7243	1.8029	1.8815	1.9601	2.0387
53	1.7073	1.7889	1.8704	1.9520	2.0335	2.1150
54	1.7702	1.8547	1.9392	2.0238	2.1083	2.1928
55	1.8341	1.9217	2.0093	2.0969	2.1845	2.2721
56	1.8993	1.9900	2.0807	2.1714	2.2621	2.3528
57	1.9656	2.0595	2.1533	2.2472	2.3411	2.4349
58	2.0331	2.1302	2.2273	2.3244	2.4214	2.5185
59	2.1018	2.2022	2.3025	2.4029	2.5032	2.6036
60	2.1717	2.2753	2.3790	2.4827	2.5864	2.6901

Diámetro	Altura (m)					
(cm)	20	21	22	23	24	25
62	2.3149	2.4254	2.5359	2.6464	2.7570	2.8675
63	2.3883	2.5023	2.6163	2.7303	2.8443	2.9584
64	2.4628	2.5804	2.6980	2.8155	2.9331	3.0507
65	2.5385	2.6597	2.7809	2.9021	3.0233	3.1445
66	2.6154	2.7403	2.8651	2.9900	3.1149	3.2397
67	2.6935	2.8221	2.9507	3.0792	3.2078	3.3364
68	2.7728	2.9051	3.0375	3.1698	3.3022	3.4345
69	2.8532	2.9894	3.1256	3.2618	3.3979	3.5341

6. DISCUSIÓN Y CONCLUSIÓN DE LA REMEDIACIÓN DE LA SUPERFICIE DEL CAMPO EXPERIMENTAL BOSQUE ESCUELA

De una gran cantidad de trabajos de investigación, se menciona que la superficie del Campo Experimental Bosque Escuela cuenta con una superficie de 672 ha. Y mediante recorridos del perímetro en el área de estudio se tomaron coordenadas por medio del GPS.

De una gran serie de trabajos se contemplaba la superficie antes mencionada para el Campo Experimental Bosque Escuela, pero de un estudio de Hernández (1992) menciona una superficie de 912 ha. Esta información se aproxima a la obtenida de 951.848773, por lo que solamente excluía 39.8488 ha. Esta diferencia se debe en gran parte en la forma en que delimitó el terreno, en el caso de Hernández se apoyo mediante las fotografías aéreas y recorridos en campo, lo que posiblemente en parte de los lienzos del límite del terreno del lado norte y este no son visibles, por lo que pudo efectuarse un error en la ubicación de algunos puntos en el perímetro.

De la forma en que se obtuvieron las 101 coordenadas mediante el GPS sobre el perímetro del CEBE se considera que el error es menor que para el caso de Hernández ya que en la actualidad es una de las formas más precisas para obtener éste tipo de información.

Las diferencias encontradas entre los diversos trabajos provienen de manera principal de la errónea localización de los vértices de los límites del predio Campo Experimental Bosque Escuela, así como el no considerar la pendiente del predio se debió a que se utilizó una proyección plana de Mercator y Esferoide de Clark 1866, con lo que se obtuvo una proyección plana. Es posible crear un modelo digitalizado para considerar todas las pendientes, por lo que al realizar este procedimiento se tendría una superficie mayor a la mencionada.

6. DISCUSIÓN Y CONCLUSIÓN DE LA REMEDIACIÓN DE LA SUPERFICIE DEL CAMPO EXPERIMENTAL BOSQUE ESCUELA

De una gran cantidad de trabajos de investigación, se menciona que la superficie del Campo Experimental Bosque Escuela cuenta con una superficie de 672 ha. Y mediante recorridos del perímetro en el área de estudio se tomaron coordenadas por medio del GPS.

De una gran serie de trabajos se contemplaba la superficie antes mencionada para el Campo Experimental Bosque Escuela, pero de un estudio de Hernández (1992) menciona una superficie de 912 ha. Esta información se aproxima a la obtenida de 951.848773, por lo que solamente excluía 39.8488 ha. Esta diferencia se debe en gran parte en la forma en que delimitó el terreno, en el caso de Hernández se apoyo mediante las fotografías aéreas y recorridos en campo, lo que posiblemente en parte de los lienzos del límite del terreno del lado norte y este no son visibles, por lo que pudo efectuarse un error en la ubicación de algunos puntos en el perímetro.

De la forma en que se obtuvieron las 101 coordenadas mediante el GPS sobre el perímetro del CEBE se considera que el error es menor que para el caso de Hernández ya que en la actualidad es una de las formas más precisas para obtener éste tipo de información.

Las diferencias encontradas entre los diversos trabajos provienen de manera principal de la errónea localización de los vértices de los límites del predio Campo Experimental Bosque Escuela, así como el no considerar la pendiente del predio se debió a que se utilizó una proyección plana de Mercator y Esferoide de Clark 1866, con lo que se obtuvo una proyección plana. Es posible crear un modelo digitalizado para considerar todas las pendientes, por lo que al realizar este procedimiento se tendría una superficie mayor a la mencionada.

6.1 DISCUSIÓN Y CONCLUSIÓN DE LA ESTRATIFICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

Para el análisis de los resultados del Inventario Forestal realizado, se utilizó una estratificación post - muestreo de la cual se determinó una densidad para el estrato I (126 sitios), el estrato II (157 sitios) y el estrato III (168 sitios). Este último estrato presenta bastantes áreas deforestadas, posiblemente por cambios de uso de suelo. Con la superficie calculada y con 451 sitios de 1/10 ha se establece que la intensidad de muestreo fue de 4.73815 % de la superficie total.

Estas condiciones no solamente se presentan en el Campo Experimental Bosque Escuela sino también en toda la Sierra La Primavera, por lo que es posible inferir todas las metodologías a toda la Primavera, teniendo en cuenta que son las mismas condiciones geográficas y edáficas en todo la Sierra.

De acuerdo al mismo Inventario Forestal las especies que mayor abundan son *Quercus resinosa* y *Pinus oocarpa*. Por lo que estas dos familias son las de mayor importancia para la zona y posiblemente para la Sierra La Primavera.

6.2 DISCUSIÓN Y CONCLUSIÓN DE LA ESTRUCTURA DEL RODAL

En lo referente a la estructura del rodal de *Pinus oocarpa*, se definió que los diámetros se ubican entre 5 y 54 cm, de los cuales en el estrato II el 25 % de la población son menores a 15 cm y el 75 % de la población no sobrepasan los 30 cm. Esto indica que no existen bastantes individuos con categorías diamétricas mayores.

Para conocer la estructura de un rodal mediante el diámetro a 1.30 m, se utilizaron categorías diamétricas de 5 cm, las cuales en la gráfica 1 se

observa una tendencia hacia las categorías diamétricas menores, por lo que se presenta un sesgo a las primeras categorías.

A su vez se aplicaron distribuciones de probabilidad de densidad, tales como la normal, χ^2 , gama, Weibull y lognormal. Por sus resultados en las pruebas de bondad de ajuste χ^2 y Kolmogorov - Smirnov se aceptaron la distribución Weibull y la distribución gama, pero por los resultados en la prueba de Kolmogorov - Smirnov se establece que la estructura del rodal de *Pinus oocarpa* se ajusta mejor a una distribución Weibull.

Del empleo de diferentes procedimientos para definir la estructura de un rodal, resultó ser mejor la aplicación de distribuciones de probabilidad de densidad, que proporcionan al observar la gráfica la ausencia o exceso de individuos para cada clase y su prueba de bondad de ajuste indica el ajuste de la información. Esta situación indica que para la distribución gama se presentan menores problemas de regeneración. Concluyéndose la ausencia de un manejo forestal global que se adecue a la estructura del rodal para *Pinus oocarpa*.

Al establecer la estructura del rodal de *Quercus resinosa* se realizaron los mismos procedimientos que para la especie de *Pinus oocarpa*. La metodología empleada para definir la estructura del rodal, mediante categoría diamétrica de 5 cm, se observa una tendencia para las categorías diamétricas menores.

Por lo que se utilizaron distribuciones de probabilidad normal, χ^2 , gama, Weibull y lognormal a *Quercus resinosa*. De éstas cinco distribuciones, se aceptaron la distribución Weibull y gama, de acuerdo a las pruebas de bondad de ajuste Kolmogorov - Smirnov.

La distribución Weibull para *Quercus resinosa* proporciona información sobre una deficiencia fuerte en regeneración en las primeras categorías diamétricas. La distribución gama presenta menor deficiencia en lo que

respecta a la regeneración, pero a partir de la categoría de 10 cm y la 20 cm, existen problemas de deficiencia de arbolado, así como en las últimas categorías mayores de 40 cm.

Por lo que para establecer de las pruebas de bondad de ajuste Kolmogorov - Smirnov para la distribución Weibull y gama, se aceptó la distribución Weibull debido a su nivel de significancia de 0.202645 y una distancia mínima de 0.0305055.

6.3 DISCUSIÓN Y CONCLUSIÓN DE LA CALIDAD DE SITIO

Sobre la toma de datos para la calidad de sitio se contó con una muestra de 150 muestras de altura - edad de árboles dominantes y codominantes. De ésta información se presentaron alturas con rangos entre 6.4 m y 20.1 m, con una edad de 18 a 82 años. A la información se le aplicaron tres modelos de regresión clásicos los cuales son los modelos de Backman, Schumacher y Chapman - Richards, siendo éste último seleccionado por presentar una mejor tendencia con respecto a los datos observados. Posteriormente de éste modelo matemático se construyó la curva índice de sitio estableciéndose una edad base de 50 años. Se consideró la construcción de cinco curvas de calidad de sitio que oscilan entre 9 y 17 m.

Las curvas de calidad de sitio se compararon al construido en Tapalpa, Jal. por Benavides (1987) en la que obtuvo tres calidades de sitio mediante el modelo de Schumacher. Con lo anterior establece que en Tapalpa se presenta una mejor calidad de sitio para *Pinus oocarpa* en la Sierra La Primavera. Ya que la mencionada Sierra es de origen volcánico reciente y por lo que no se ha desarrollado suelo.

6.4 DISCUSIÓN Y CONCLUSIÓN DEL VOLUMEN PARA *Pinus oocarpa*

Para establecer el volumen por sitio, hectárea del estrato II y crear una tabla volumétrica fue necesario obtener el coeficiente mórfo de *Pinus oocarpa*, mediante una muestra de 58 árboles, a la muestra se le aplicó una medida de tendencia central y de dispersión y una prueba de t para obtener un promedio, estableciendo que el coeficiente mórfo se ubica en un valor promedio de 0.31.

Se aplicaron 6 modelos de regresión simple o regresiones múltiples con un número de variables de 1 a 5, estableciendo el modelo $v = \alpha_0 + a_1 * d^2 + a_2 * h + a_3 * (d^2 * h)$ fue el mejor debido a los resultados que se obtuvieron y el modelo tres variables y su cálculo es rápido y de fácil aplicación.

La tabla de volumen se construyó de acuerdo a la relación presente diámetro - altura con lo que se calculo el volumen para la especie en cuestión.

De acuerdo al tamaño de muestra 58 individuos establecen varios autores. Además que Loetsch *et. al.* (1973) aconseja entre 50 y 100 árboles para construcción de una tabla de cubicación de aplicación local.

Sobre de calcular un coeficiente de forma se aconseja la realización de análisis troncales y además considerar un coeficiente de forma para cada una de las categorías dimensionales. Por lo que esta primera tabla es aceptable ya que es para uso del manejo de una área de protección de flora y fauna y no para una área con fines de aprovechamiento.

7. LITERATURA CITADA

- Aguilar, R. M. 1983. La ecuación de Schumacher y su aplicación en estudios de crecimiento y clave de sitio. Premio Nacional de Administración Pública. 1982 CIFO-INIF. México p 69.
- Aguilar, R. M. 1984. Armonización de curvas de crecimiento y calidad de estación. Primera reunión sobre modelos de crecimientos de árboles y masas forestales. Pub. Esp. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales. No. 44 México pp 169 - 181.
- Aguilar, R. M. 1988. Algunas relaciones alométricas y su comportamiento con el modelo de Weibull. Serie de investigación Técnica. Época I No. 7. Sept-Oct. Dirección Forestal estado de Michoacán UAF No. 4 Acuitzio-Villa Madero. México pp. 13 - 25.
- Aguilar, R. M.; Aguilar, S. D. 1991 Determinación de la calidad de estación en los bosques de a comunidad indígena de Nuevo San Juan Parangaricutiro, Michoacán. Revista Ciencia Forestal en México. Vol. 16 Núm. 69 p. 35 - 57.
- Aguilar, R. M. 1991 Comparación de cuatro modelos matemáticos aplicados al crecimiento forestal. Revista Ciencia Forestal en México. Vol. 16 Núm. 70 Jul-Dic. p. 87 - 108.
- Aguilar, R. M. 1994. Elaboración de tarifas de volúmenes a partir de análisis troncales. Revista Ciencia Forestal en México. Vol. 19 Núm. 76. pp 89 - 101.
- Arellano, A. R.; Benavides, S. J. de D. y Talavera, Z. E. 1990. Estudio sobre plantas indicadoras de Calidad de estación en la Sierra de Tapalpa, Jal. Revista Ciencia Forestal. No. 67 Vol. 15 Ene-Jun. pp. 89 - 109.
- Arteaga, M. B. 1982. Evaluación de la Calidad de estación en base a características fisiográficas. Resumen Seminario de Investigación Colegio de Postgraduados. Centro de Genética. Programa Forestal. México.

- Arteaga, M. B. 1988. Factores de sitio que influyen en la productividad de *Pinus patula* Schl. et Cham, en la región Chignahuapan - Zacatlán, Puebla. *Agrociencia*. No. 72: 121 - 131.
- Avery, T. A.; Burkhardt, H.E. 1994. *Forest Measurement*. 4 edición. Editorial McGraw-Hill, Inc. pp. 403.
- Benavides, J. D. 1987. Estimación de la calidad de sitio mediante índices de sitio de *Pinus michoacana* cornuta Martínez y *Pinus oocarpa* Schiede para ADF Tapalpa, Edo. de Jalisco. tesis de Licenciatura Uach. División de Ciencias Forestales Chapingo. México. p. 80.
- Bordes, B. E.; Bailey, R. L. y Ware, K. D. 1984. *Slash pine site index from a polymorphic model by joining (splining) nonpolynomial segments with an algebraic difference method*. *Fores Science*. Vol 30 Number 2. 411-423.
- Bruce, D.; Schumacher, F. X. 1965. *Medición Forestal*. Primera edición en español. Editorial Herrero, S. A. Traducido por Ramón Palazón y José Meza Nieto Título original *Forest Mensuration*. pp. 457
- Castaños, M. L. J. 1962. Evaluación de la calidad de estación de *Pinus patula* en el norte de Oaxaca. INIF. Boletín Técnico. No. 2. pp 32.
- Castellanos, B. J. F.; Ruiz, M. M.; Gómez, C. M. y Santiago, P. L. 1995. Tablas de volumen para siete especies de pino en la sierra norte. Resumen de ponencias del II Congreso Mexicano sobre Recursos Forestales. Montecillos. Edo. de México. p 17.
- Clutter, L. J.; Fortson, J. C.; Pienaar, L. V.; Brister, G. H.; Bailer, R. L.,. 1982. *Timber management: a quantitative approach*. John Wiley & Sons. pp. 331.

- Davis, K. P. 1966. *Forest Managment*. Second edition Edit. Mc. Graw Hill. pp.
- Daniel, P. W.; Helms, E. U. y Becker, S. F. 1982. *Principios de silvicultura*. Editorial Mc Graw Hill. México. pp 420.
- De la Paz, O. C. 1982. Estructura anatómica de cinco especies del género *Quercus*. Secretaria de Agricultura y Recursos Hidráulicos. Boletín técnico No. 88. México. D. F. pp.
- Elliot, C. 1996. Conservación y aprovechamiento forestal. Paradigmas de conservación forestal. *Unasyva*. Vol. 47. No. 187. pp 3 - 9.
- Fallad, C. A. 1989. Elaboración de una tabla fotogramétrica de volúmenes para *Pinus* sp. en el Bosque Escuela del Instituto de Madera, Celulosa y Pape l de la Universidad de Guadalajara, en la Sierra de La Primavera, Jalisco. México. Tesis para obtener el título de Licenciado en Biología. 84 p.
- González, V. L. M. 1986. Contribución al conocimiento del género *Quercus* (Fagaceae) en el estado de Jalisco. Colección Flora de Jalisco. Instituto de Botanica. Universidad de Guadalajara. pp 240.
- Groothousen, C. 1983. Curvas de índice de sitio para *Pinus oocarpa* (Schiede) en Honduras. Centro América. Primera Reunión sobremodelos de crecimiento de árboles y masas forestales. SARH -Secretaria Forestal - INIF. Publicación Especial. No. 44 pp 183 - 184.
- Harold, W. y Hocker, J. 1984. *Introducción a la Biología Forestal* . Primera Edición en Español. Editorial AGT. México. pp 446.

Husch, B.; Miller, I. C. y Beers, T. W. 1982. Forest Mensuration. Edit. John Wiley & Sons.
pp. 397.

International Association of Wood Anatomist. 1964 Commítlee on Nomenclature.
Multilingual glossary of terms used in wood anatomy. pp. 161

Jiménez, P. J. 1988, Elaboración de tablas y tarifas de volumen para fuste limpio de *Pinus pseudostrobus* Lindl. y *Pinus teocote* Schl. et Cham. en una fracción de la sierra Madre Oriental en el noreste de México. Tesis para obtener el grado de Doctor en Ciencias Forestales en la Universidad de Göttingen Alemania. pp. 100.

Klepac, D. 1976. Crecimiento e incremento de árboles y masas forestales. Primera edición en español. Universidad Autónoma de Chapingo. México. p. 120.

International Association of Wood Anatomist. 1964 Commítlee on Nomenclature.
Multilingual glossary of terms used in wood anatomy. pp. 161

Ley General del equilibrio Ecológico y La Protección al Ambiente (Actualizada). 1997.
Primera edición. Editorial Ediciones Delma. pp. 170.

Martínez, M. 1948. Los pinos mexicanos. segunda edición aumentada consideradamente.
Instituto de Biología. México. D. F. p 300 - 307.

Martínez, M. 1977. Los encinos de Mexico. Anales del Instituto de Biología. México.
Comisión Forestal Serie Epoca 2. No. 8. Michoacán, Méx. pp 130 - 131.

Montes, R. E; Grellmann, K. A. 1982. Estudio Anatómico de encinos mexicanos para apoyo a la industria de celulosa y papel. IMCyP. Publicación 10. pp. 14.

- Narváez, F. R. 1992. Suelo-Calidad de estación en el área experimental forestal Madera, Chihuahua, Revista Ciencia Forestal. Vol. 17. No. 17 pp. 3 - 26.
- Navar, C, J de J. 1994. Métodos estadísticos y experimentación forestal. Apuntes del curso de maestría Experimentación Forestal de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma de Nuevo León. pp. 50.
- Navar, C. J. de J.; Bravo. Ma. del Refugio; Uvalle, J. Y.; De los Ríos, E. ; Pérez, J. S y Báez, S. 1995 Aplicación de un modelo para evaluar tarifas y volumen forestal en *Pinus hartwegii* en el noreste de México. Resumen de Memorias del II. Congreso Mexicano obre Recursos Forestales. Montecillos, edo. de México. p 5.
- Payandeh, B.; Wang, Y. 1994. Relative accuracy of a new base - age invariant site index model. Forest Science. Vol 40 No. 2 pp. 341 - 348.
- Pece de Ríos, M. 1994. Tabla de volumen comercial para *Eucaliptus pellita* utilizando el método de la razón volumétrica. Quebracho No. 2 pp. 54 - 63.
- Pérez, O. M. del C. 1982. Estructura Anatómica de cinco especies del género *Quercus*. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. Boletín Técnico No. 88. pp.
- Quiñones, C. A.; Ramírez, M. H.; Zamudio, S. F. J. 1995. Evaluación de la calidad de sitio para *Pinus cooperi* en el SPEF Cielito Azul, San Miguel de Cruces, Durango. resumen de Ponencias del II Congreso Mexicano sobre Recursos Forestales. Montecillos, Edo. de México. p. 18
- Reams, G. A. ; Nicholas, N. S. ; Zedakers, S. M. 1993. Two hundred year variation of southern red spruce radial growth as estimation by spectral analysis. Can. J. Forest. Res. Vol. 23: 291-301.

- Residencia General de estudios Centro Norte. Jefatura del Programa Hidráulicos. Delegación General en el Estado de Jalisco. Secretaria de Agricultura y Recursos Hidráulicas. Guadalajara, Jal. Julio de 1986. Estudio Agroecológico de las tierras del Bosque Escuela de la Universidad de Guadalajara, Municipio de Tala, Jal.
- Rodríguez, F. C.; Moreno Sánchez, R. 1982. Elaboración de tablas de volúmenes a partir de análisis troncales para *Pinus montezumae* Lamb. en el Campo Experimental San Juan Tetla, Puebla. Boletín Técnico N0. 90. pp. 37.
- Rodríguez, C. A y Reynoso, D. J. 1992. Inventario florístico del Bosque-Escuela Sierra de La Primavera, Municipio de Tala, Jalisco, México (1). Boletín IBUG. Vol. 1 Núm 3, 137 - 166.
- Russell, S. G. 1909 Publicada por Arnold Arboretum No. 1 en Boston Mass y traducida por F. Moncayo y G. González en 1978. Moeleia, Michoacán, Méx. pp 29.
- Shönau, A. P. G. 1986. Problems in using vegetation on soil classification in determining site quality. 18 th. IUFRO. World Congress. Div. I Forest Environment and Silviculture. Yugoslavia. pp. 392 - 404.
- Spurr, S. H.; Barnes, B. V. 1982. Ecología Forestal. Traducción Raigordsky Carlos Luis. Editorial AGT. México. pp. 690.
- Steel, R. G. D; Torrie, J. H. 1992. Bioestadística. Principios y Procedimientos. Segunda edición (Primera en español). Editorial Mc Graw Hill. Cap 24 Estadística no paramétrica pags. 520-539.
- Valles, G. A. G.; Torres, R. J. M.; Velazquez, M. A. y Rodríguez, F. C. 1995. Validación del modelo de Chapman Richards para la predicción del índice de sitio en *Pinus cooperi* en

el SPEF Cielito Azul. Resumen de Ponencias del II Congreso Mexicano sobre Recursos Forestales. Montecillos, Edo. de México. p. 19.

Van, L. A. 1991. Forest Biometry. Publications Sponsored by forests. Chaper 17 p. 443-469.

Zepeda, B. E. M.; Rivero, B. P. 1984 Construcción de curvas anámorficas de índice de sitio ejemplificación del método de la curva guía. Revista Ciencia Forestal. No. 51 Vol. 9 Sep--Oct. pp 3 - 38.

