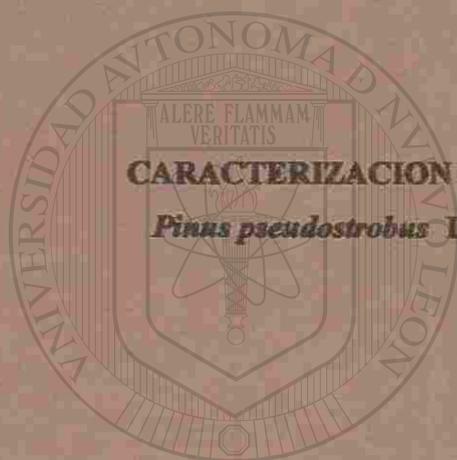


UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES
SUBDIRECCION DE POSTGRADO



**CARACTERIZACION SILVICOLA Y ESTRUCTURAL DE RODALES DE
Pinus pseudostrobus LINDL. EN EL SUR DE NUEVO LEON, MEXICO.**

TESIS DE MAESTRIA

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
Como requisito parcial para obtener el Grado de
MAESTRIA EN CIENCIAS FORESTALES ®
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

Presenta:

MARCO ANTONIO QUIÑONES BAYONA

Linares, N. L.

Junio del 2000

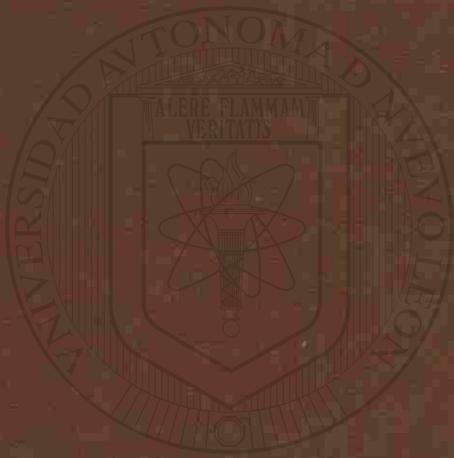
TM

Z599

FCF

2000

08

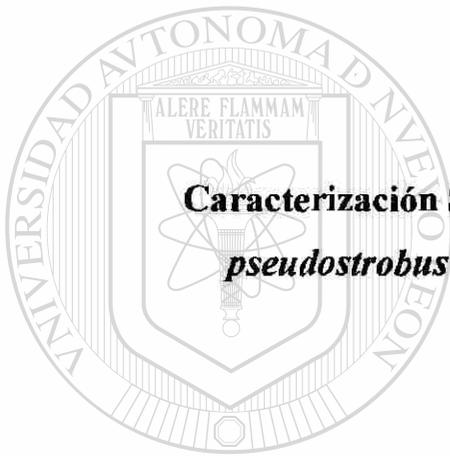


UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

**UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES
SUBDIRECCION DE POSTGRADO**



Caracterización Silvícola y Estructural de Rodales de *Pinus pseudostrobus* Lindl. en el Sur de Nuevo León, México.

TESIS DE MAESTRIA

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

para obtener el grado de

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS
MAESTRIA EN CIENCIAS FORESTALES

Presenta:

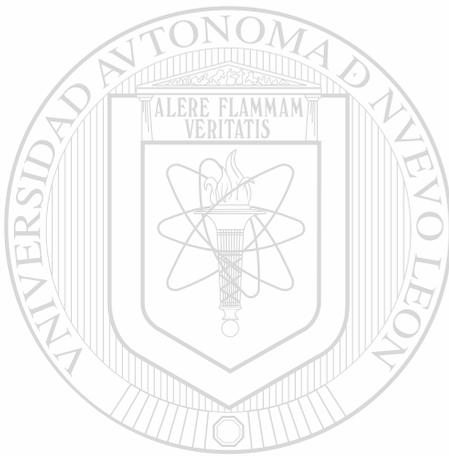
MARCO ANTONIO QUIÑONES BAYONA

Linares, N. L.

Junio del 2000

TM
Z597
F04
20
Q8

2138 5400



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS



FONDO
TESIS

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES
SUBDIRECCION DE POSTGRADO

**Caracterización Silvícola y Estructural de Rodales de *Pinus*
pseudostrobus Lindl. en el Sur de Nuevo León, México.**

TESIS DE MAESTRIA

para obtener el grado de

MAESTRIA EN CIENCIAS FORESTALES

Presenta:

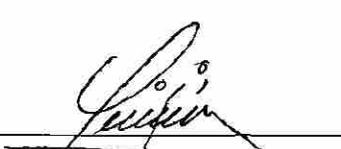
Ing. Marco Antonio Quiñones Bayona

Comite de Tesis:



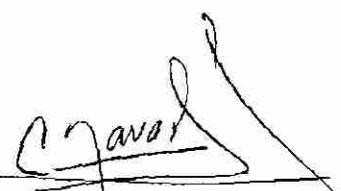
Dr. Oscar A. Aguirre Calderón

Presidente



Dr. Javier Jiménez Pérez

Secretario



Dr. José de Jesús Navar Cháidez

Vocal

Linares, N. L.

Junio del 2000

DEDICATORIA

A Dios por permitirme vivir y dejarme seguir disfrutando de estos momentos.

A mi esposa Flor Hernandez por su amor, comprensión y su apoyo moral incondicional, sin lo cual no hubiera sido posible realizar esta ambición.

A mi hija Flor de Liz por ser mi orgullo y mi alegría, la cual me alienta a seguir superándome.

A mis padres Daniel Quiñones y Mca. Caridad Bayona por haberme dado la vida y por creer en mi.

A mi hermanita Christian Jarely (†) a la que la vida le cobro una mala jugada.

A mis hermanos Daniel, Rosa Isela, Leonel y Edith, por su apoyo moral.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por haberme otorgado la Beca Crédito durante los 2 años de estudios de maestría, sin lo cual no hubiera sido posible lograr esta meta.

Al proyecto CONACYT 28185-B, “ Análisis Cuantitativo de la Estructura de Ecosistemas Forestales Mixtos Multicohortales” por el apoyo parcial recibido para la realización de la presente investigación.

Al Dr. Oscar A. Aguirre Calderón por haber dirigido esta tesis, y por todos consejos y sugerencias recibidos para la elaboración y edición del presente investigación, por haber depositado su confianza en mi, y por ser un gran amigo.

Al Dr. Javier Jiménez Pérez por haber aceptado formar parte de el comité de tesis, así como por sus sugerencias y apoyo recibido para la realización de la presente, y también por su amistad.

Al Dr. José de Jesús Nívar Cháidez por su atinados comentarios para el mejoramiento de texto, así como por su amistad y confianza brindada.

Al Ing. Edgar Torres M. Director técnico de la UCODEFO No. 1 Galeana por su apoyo y disposición en la realización de este trabajo.

Al Dr. Antonio Domínguez Calleros por su amistad brindada

Y muy especialmente a las familias Nívar Cháidez y Aguirre Almonte por el apoyo, amistad y hospitalidad brindada a mi y a mi familia lo cual hizo más placentera nuestra estancia en Linares.

A la planta de profesores de la Facultad de Ciencias Forestales por participar en mi formación.

A todas las secretarias y personal administrativo y técnico de la facultad

Y a todos aquellos que de una u otra manera contribuyeron en mi formación

A todos los compañeros de la 6ta. generación con los cuales pase momentos inolvidables: Mario, Sacra, Meche, Gaby, Paola Juany, Abel, Rodolfo, Carlos, Memo, Mazo, Edgar, Chuy, Minerva, Laura, Aldo, Gerardo.

Al Ing. Oscar Ramírez y a Sra. Paulina Basaldua por su apoyo en la consulta de material bibliográfico

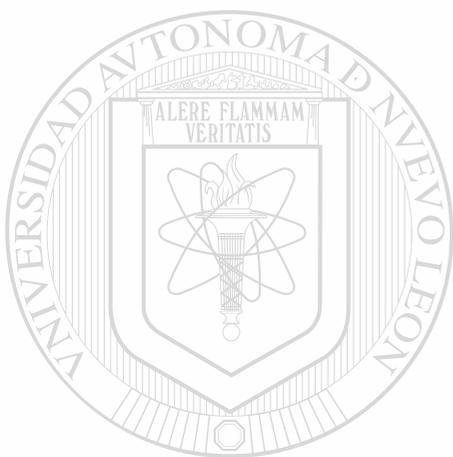
INDICE

LISTA DE FIGURAS	i
LISTA DE CUADROS	iii
RESUMEN	iv
ABSTRACT	v
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1 OBJETIVOS	3
1.1.1 Objetivo general	3
1.1.2 Objetivos específicos:.....	3
2. ANTECEDENTES	4
2.1 Parámetros Dasométricos.....	4
2.2 Evaluación de la Calidad de Sitio.....	6
2.2.1 Métodos para Evaluar la Calidad de Sitio.....	7
2.2.1.1 Método de Índice de Sitio.....	8
2.3 Densidad	9
2.3.1 Determinación de la Densidad del Rodal	10
2.3.2 Métodos para Determinar la Densidad de Rodales.....	11
2.3.2.1 Índice de Densidad de Rodales de Reineke.....	12
2.3.2.2 Método de la Relación Área-Arbol.....	13
2.3.2.3 Factor de Competencia de Copas.....	14
2.3.3 Guías de Densidad.....	16
2.3.3.1 Usos de las Guías de Densidad.....	17

2.4 Análisis Estructural.....	18
2.4.1 Procedimientos para la Caracterización Estructural en Rodales.....	
Multicohortales	21
2.4.1.1 Índice de Distancias D_i	22
2.4.1.2 Índice de Agregación R de Clark & Evans.....	22
2.4.1.3 Índice de Angulos W_i	23
2.4.2 Funciones de Distribución	23
2.4.2.1 Coeficiente de Homogeneidad (H) De Camino (1976).....	25
2.4.2.2 Índice de Diferenciación Diamétrica TD	26
2.4.2.3 Índice de Diferenciación en Altura TH	26
2.4.3 Otros Índices para Describir la Estructura Espacial	27
2.4.3.1 Índice de Hopkins y Skellam (1954).....	27
2.4.3.2 Índice de Batcheler (1971)	28
3. MATERIALES Y METODOLOGIA.....	29
3.1 Descripción del Área de Estudio	29
3.1.1 Localización.....	29
3.1.2 Colindancias.....	29
3.1.3 Superficies.....	29
3.1.4 Características por Cuencas Hidrológicas.....	30
3.1.5 Fisiografía.....	31
3.2 Descripción de <i>Pinus pseudostrobus</i>	32
3.2.1 Distribución y Hábitat.....	33
3.3 Obtención de los Datos	33
3.3.1 Sitios Circulares de 500 m ²	34
3.3.2 Sitios de Dimensiones Variables	34
3.3.3 Parámetros Dasométricos	36
3.3.3.1 Sitios de 500 m ²	36
3.3.3.2 Sitios de muestreo de Seis Árboles.....	37
3.3.4 Índice de Sitio.....	39

3.3.5 Índice de Densidad de Rodales de Reineke.....	39
3.3.6 Factor de Competencia de Copas.....	40
3.3.7 Construcción de la Guía de Densidad.....	41
3.4 Caracterización Estructural	42
3.4.1 Índices de Diferenciación Espacial.....	42
3.4.1.1 Índice de Distancias	42
3.4.1.2 Índice de Agregación R de Clark & Evans (1954)	43
3.4.1.3 Índice de Angulos W_i	44
3.4.2 Índices de Diferenciación Dimensional.....	46
3.4.2.1 Funciones de Distribución	46
3.4.2.2 Coeficiente de Homogeneidad (H) (De Camino, 1976)	47
3.4.2.3 Índice de Diferenciación Diamétrica TD	48
3.4.2.4 Índice de Diferenciación en Altura TH	49
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	51
4.1 Parámetros Dasométricos.....	51
4.2 Estimación del Índice de Sitio.....	52
4.3 Estimación de la Densidad.....	52
4.3.1 Índice de Densidad de Rodales de Reineke.....	53
4.3.2 Factor de Competencia de Copas.....	57
4.3.3 Construcción de la Guía de Densidad.....	60
4.4 Estructura Espacial (horizontal).....	63
4.4.1 Índice de Distancia D_i	63
4.4.2 Índice de Agregación R de Clark & Evans.....	66
4.4.3 Índice de Ángulos W_i	68
4.5 Estructura Dimensional	70
4.5.1 Estructura Diamétrica.....	70
4.5.2 Coeficiente de Homogeneidad (H).....	76

4.5.3 Índice de Diferenciación Diamétrica <i>TD</i>	77
4.5.4 Índice de Diferenciación en Altura <i>TH</i>	82
5. CONCLUSIONES	86
6. LITERATURA CITADA	89



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

LISTA DE FIGURAS

Figura		Página
1.	Localización del área de estudio.....	30
2.	Distribución de <i>Pinus pseudostrobus</i>	33
3.	Sitios de 500 m ² y de dimensiones variables.....	35
4.	Valores de índice de ángulos W_i en diferentes situaciones.....	45
5.	Ejemplos de índices de diferenciación en diámetro y altura.....	50
6.	Diagrama de índice de densidad de rodales de Reineke.....	56
7.	Guías de densidad para <i>Pinus pseudostrobus</i> .Lindl. en el sur de Nuevo León, para diámetros cuadráticos medios de 10 a 45 cm.....	61
8.	Guías de densidad para <i>Pinus pseudostrobus</i> .Lindl. en el sur de Nuevo León, para diámetros cuadráticos medios de 45 a 80 cm.....	62
9.	Distribución y comparación del índice de distancia D_i para 5 rodales de <i>P. pseudostrobus</i> de la Sierra Madre Oriental del sur de N. L.....	65
10.	Índice de agregación R de Clark & Evans promedio por rodal.....	66
11.	Índice de agregación R para 3 sitios con diferente estructura.....	67
12.	Distribución y comparación del índice de ángulos W_i para 5 rodales de <i>P. pseudostrobus</i> de la Sierra Madre Oriental del sur de N. L.....	69

13.	Histograma de frecuencias diamétricas y ajuste de la distribución de probabilidad Weibull (rodas 1 y 2).....	71
14.	Histograma de frecuencias diamétricas y ajuste de la distribución de probabilidad Weibull (rodas 3 y 4).....	73
15.	Histograma de frecuencias diamétricas y ajuste de la distribución de probabilidad Weibull (rodal 5).....	74
16.	Coeficiente de homogeneidad (H) para volumen y área basal.....	76
17.	Distribución y comparación del índice diferenciación diamétrica TD para 5 rodas de <i>P. pseudostrobus</i> de la Sierra Madre Oriental del sur de N. L. México.....	80
18.	Comportamiento de los valores de Alfa y Beta contra valores de TD	82
19.	Distribución y comparación del índice diferenciación en altura TH para 5 rodas de <i>P. pseudostrobus</i> de la Sierra Madre Oriental del sur de N. L. México.....	85

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS



LISTA DE CUADROS

CUADRO	Página
1. Valores de W_i	45
2. Valores de TD y TH en grupos.....	50
3. Atributos dasométricos de los rodales.....	51
4. Valores promedio por rodal para índices de sitio.....	52
5. Análisis de regresión para número de árboles-diámetro cuadrático.....	53
6. Número de árboles y área basal para los diferentes diámetros cuadráticos de <i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl.....	54
7. Número de árboles por hectárea para <i>Pinus hartwegii</i> y <i>P. pseudostrobus</i>	55
<hr/>	
8. Análisis de regresión para la relación diámetro de copa diámetro normal.....	57
9. Área máxima de copa (AMC), número de árboles por hectárea (N) y área basal (G).....	59
10. Valores de índices, área basal y número de árboles por ha.....	63
11. Índice de diferenciación diamétrica (TD) por rodal.....	78
12. Valores de los parámetros alfa beta de la distribución Weibull e índice de diferenciación diamétrica.(TD).....	81
13. Índice de diferenciación en alturas (TH) por rodal.....	83

I. INTRODUCCIÓN

La caracterización de la estructura del estrato arbóreo de ecosistemas forestales debe basarse en índices cuantitativos que permitan analizar objetivamente influencias antropogénicas o procesos de sucesión natural Aguirre (1998). La estructura de un ecosistema se define básicamente por el tipo, número, ordenamiento espacial y ordenamiento temporal de los elementos que lo constituyen. En este contexto destacan principalmente la estructura específica, la estructura dimensional y la estructura espacial de los ecosistemas (Thomasius y Schmidt 1996).

El contar con información cuantitativa referida en tiempo y espacio sobre la estructura de los ecosistemas forestales, es condición básica para el análisis de este atributo desde el punto de vista dinámico. La descripción tradicional de tales ecosistemas comprende normalmente, junto a variables medibles como área basal, diámetro y alturas, una serie de variables categóricas que describen de manera cualitativa la estructura de los mismos mediante conceptos subjetivos dependientes de la persona que realiza el análisis y que, por tanto, no son reproducibles (Gadow, 1993). Los cambios en la estructura de los ecosistemas por sucesión natural o influencias antropogénicas pueden de esta manera suponerse, pero no evaluarse cuantitativamente (Aguirre 1998).

La estructura de un rodal o bosque se refiere a la distribución de las clases por su edad y/o diámetro, y por sus copas. El bosque puede tener una estructura de edad uniforme o no uniforme. Los bosques de edad uniforme se integran con rodales en los que todos los árboles tienen, de modo aproximado, la misma edad, aunque los distintos rodales pueden ser de edades diferentes (Daniel *et al.*, 1982).

El conocimiento de la estructura de un rodal es fundamental para prescribir las intervenciones de manejo y más importante aún para determinar el rendimiento de los bosques por tipo de producto. Está superada la época en que bastaba con la determinación de un volumen cúbico total para evaluar un bosque. Hoy, la diversidad de servicios factibles de obtener obliga al técnico forestal a valorar las alternativas de manejo con información detallada en cuanto a bienes y servicios y/o combinación de los mismos (Prodan *et al.*, 1998).

El conocimiento y la representación cuantitativa de la estructura de los ecosistemas forestales han ido adquiriendo mayor importancia frente a la gran diversidad de servicios que se están generando en dichos ecosistemas.

La aplicación de diversos índices cuantitativos que caractericen la estructura dimensional del estrato arbóreo es una de las alternativas para contar con información confiable sobre la condición presente de los ecosistemas forestales así como llevar un monitoreo en el tiempo sobre la dinámica de los mismos, y que pueda integrarse además en la elaboración de los planes de manejo que garanticen la sustentabilidad de los recursos bajo manejo.

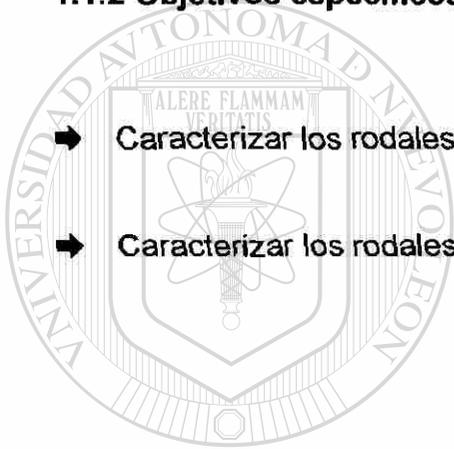
1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo general

Contribuir al manejo sustentable de los recursos naturales a través del conocimiento de las características silvícolas y estructurales de *Pinus pseudostrobus* Lindl. en rodales del sur de Nuevo León.

1.1.2 Objetivos específicos

- ➔ Caracterizar los rodales mediante variables dasométricas y silvícolas.
- ➔ Caracterizar los rodales por su condición estructural.



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

2. ANTECEDENTES

2.1 Parámetros Dasométricos

Uno de los objetivos centrales de la dasometría es describir poblaciones (bosques) en términos del valor total de algún atributo de todos los árboles (área basal, volumen). Dado que las poblaciones forestales son por lo general muy extensas y de difícil acceso, la descripción se basa en una pequeña muestra de árboles, seleccionados de un modo que representen a toda la población. Por razones prácticas, los árboles no se seleccionan individualmente, sino en grupos, llamados unidades muestrales (Prodan *et al.*, 1998).

El objeto fundamental de la dendrometría es la medición, cálculo o estimación de las dimensiones de árboles y bosques. Naturalmente, para facilitarlas mediciones de bosques, es necesario medir sus partes estructurales; esto es, medir árboles.

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

La medición de las dimensiones de los árboles a su vez debe considerar a cada dimensión por separado para finalmente, de la complementación de esas dimensiones, conocer el volumen de madera que cada árbol contiene. Por otra parte no siempre es el volumen la dimensión de interés, sino que pueden serlo otras como la altura total, altura parcial, el área basal, etc. (Romahn y Zepeda 1987).

La representación de la estructura de un rodal lograda mediante la distribución diamétrica puede evaluarse de acuerdo con diversos puntos de vista. Sin

embargo, para cálculos, conclusiones y comparaciones, no siempre es factible operar con la distribución diamétrica, sino calcular valores medios por rodal. La media aritmética caracteriza la distribución diamétrica del rodal. Esta es importante para las distribuciones irregulares, puesto que representa el punto en la ordenada donde se encuentra el centro de gravedad de la distribución.

El área basal de rodal, G , es un elemento muy importante para la caracterización del rodal, para definir su grado de densidad y volumen. Entre el área basal y el volumen, y entre el crecimiento en área basal y el volumen, existe un marcado paralelismo.

Las alturas absolutas son principalmente dependientes de la especie, la calidad de sitio, edad y el manejo de rodal. Por el contrario, las alturas relativas dentro del rodal son dependientes del diámetro, de la posición sociológica de árbol dentro del rodal y de otros factores que no pueden ser registrados directamente en forma cuantitativa.

En general, las alturas aumentan con el diámetro dentro de un rodal. Pero excepcionalmente árboles o grupos de árboles con diámetros grandes presentan alturas más bajas que árboles con diámetros menores, debido a condiciones de desarrollo distintas.

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

Para la caracterización de un rodal y cálculo del volumen es útil la determinación de alturas medias del rodal. La deducción de la altura media del rodal se basa en la siguiente relación: la altura media del rodal H , multiplicada por el área basal del rodal, G y por el factor de forma del rodal, F , nos proporciona el volumen del rodal.

2.2 Evaluación de la Calidad de Sitio

Barnes (1962) define la calidad de sitio como la capacidad productiva de una área forestal, determinada por el clima, suelo, topografía, y otros factores fisiográficos y microbiológicos Daniel *et al.*, (1982) definen la productividad de los terrenos forestales, en gran parte por la calidad de sitio, la cual se estima mediante la máxima cosecha de madera que el bosque produzca en un tiempo determinado. Así, la calidad de sitio es la suma de los diversos factores ambientales tales como: Profundidad, textura, composición mineral, así como las características de los perfiles del suelo, el declive de las pendientes, la exposición, el microclima, las especies que viven sobre el y otros más.

Los cálculos de estimación de la productividad se han hecho casi siempre con base en los simples recursos naturales renovables del bosque, como la madera, el forraje, el agua y la fauna. Debido a la carencia de información acerca de la productividad total de un área y de las relaciones balanceadas sostenidas entre los recursos renovables, se requiere un considerable esfuerzo para el análisis de todos los componentes de un ecosistema.

La productividad de los terrenos forestales se define, en gran parte, por la calidad del sitio, que se estima mediante la máxima cosecha de madera que el bosque produzca en un tiempo determinado.

Prodan *et al.*, (1998) define la calidad de sitio como la capacidad de un área determinada para el crecimiento de árboles. Es la respuesta, en el desarrollo de una determinada especie, a la totalidad de las condiciones ambientales (edáficas, climáticas, y bióticas) existentes en un determinado lugar. Su conocimiento es fundamental en la ingeniería forestal para elegir los mejores sitios, para plantar la especie apropiada en el lugar adecuado y para cambiar sus características. Antes se estaba sólo supeditado a cambios en el manejo, especialmente en la densidad del rodal; sin embargo, actualmente pueden

modificarse también sus características físicas, a través de la irrigación, preparación del suelo etc.

Dentro del contexto de manejo forestal, la calidad de sitio puede ser definida como “la producción potencial de madera de un sitio para una especie en particular o para un tipo de bosque”. Las palabras bueno, regular, y pobre son utilizadas frecuentemente para calificar la calidad de sitio, describiendo una alta, mediana, y baja productividad potencial, respectivamente. Aunque el sitio es en corto plazo constante e indistinto de la especie, la calidad de sitio tiene significado sólo con respecto a una o más especies que puedan ser consideradas para manejo de una área en particular.

2.2.1 Métodos para Evaluar la Calidad de Sitio

Spurr y Barnes (1982) señalan que los métodos para estimar la calidad de sitio, pueden dividirse en forma general en directos e indirectos. Los primeros consisten en producir un bosque de una especie determinada, en la que se realizan mediciones periódicas del volumen producido en las diferentes etapas de desarrollo. Los indirectos por otro lado se clasifican en los métodos de: índice de sitio, vegetación, factores ambientales y multifactores, principalmente.

Clutter *et al.*, (1983) conceptualizan los métodos para cuantificar la calidad de sitio en:

Directos: que incluyen registros históricos de rendimiento, datos de volumen del rodal (edad-volumen) y los datos de altura del rodal (edad-altura).

Indirectos: que incluyen el uso de las relaciones interespecíficas, características de la vegetación menor y el uso de factores edáficos,

climáticos y topográficos.

La calidad de sitio es la suma total de los factores ambientales que afecten el crecimiento de las plantas. A pesar de que los suelos tienen fundamental importancia en la determinación del sitio, el clima y el bosque mismo con su complejo de flora y fauna también deben considerarse.

Arteaga (1989) menciona que para evaluar la productividad de un sitio, se requiere realizar mediciones de sus características así como de las variables del rodal, las cuales se emplean como términos en funciones matemáticas o puntos para generar gráficas que expresen la productividad del sitio. Asimismo señala que se distinguen tres diferentes tipos de expresión para determinar la productividad del sitio.

- Índice de Sitio
- Incremento Medio Anual
- Otras variables del rodal

2.2.1.1 Método de Índice de Sitio

El término de índice de sitio se emplea para designar la altura dominante alcanzada por un rodal coetáneo a una edad determinada, denominada edad base; esta altura será distinta en localidades de calidad o fertilidad diferente y es un claro indicador para determinar la calidad de sitio (Davis y Johnson, 1987). La altura promedio de todos los árboles no tiene aplicación debido a que se ve afectada por la eliminación marcada de determinadas categorías diamétricas (ejem. Aclareos por lo bajo), por las diferencias de densidad e incendios (Kramer, 1988).

El uso de la altura dominante como estimador de la calidad de sitio se debe a que está más estrechamente relacionada con la productividad que con cualquier otro parámetro influenciado por la densidad.

Davis y Johnson (1987) sugieren su aplicación en áreas poco extensas y a nivel especie.

Para la determinación de índices de sitio, se emplea la altura alcanzada por los árboles dominantes y codominantes a una edad base determinada (Oliver y Larson, 1990).

2.3 Densidad

El crecimiento y el rendimiento dependen tanto de la productividad potencial, dada por la calidad de sitio, como del grado en que se aproveche dicha potencialidad a través de la cantidad y distribución de la masa. La distribución espacial es importante en formaciones naturales, especialmente para los procesos regenerativos del bosque, pero no lo es en bosques sometidos a manejo intensivo (Prodan *et al.*, 1998).

Bajo el término de densidad se incluyen 3 conceptos:

- Cantidad de vegetación en crecimiento.
- Grado de ocupación del sitio (Stocking).
- Grado de competencia entre árboles por los elementos del medio. (Restricción impuesta por los vecinos al libre desarrollo).

La densidad se utiliza como variable de decisión o control en las intervenciones silviculturales o, en modelos simuladores de desarrollo y crecimiento, también como variable predictora. Una medida de densidad debe ser básicamente clara,

consiente, y objetiva y fácil de aplicar; en lo posible, conviene que tenga relación con el volumen, y no debe estar relacionada con la edad ni con el sitio.

La densidad puede expresarse en términos relativos o absolutos. Entre los índices de densidad absolutos está el número de árboles y área basal por hectárea; un índice relativo podría ser el cociente del área basal actual y el área basal de un rodal equivalente de densidad normal. Existen cuatro tipos de índices de densidad.

- a). Índice de densidad del rodal
- b). Índice de densidad puntual
- c). Índice de competencia de rodales
- d). Índices de competencia para árboles individuales

2.3.1 Determinación de la Densidad del Rodal

La densidad ha sido definida como el grado de ocupación real, en un determinado momento de la superficie de un sitio o lugar por arboles (Zepeda, 1984). La densidad del rodal puede definirse de la misma manera como “la densidad de existencias en referencia al número de arboles, área basal, volumen, etc.,” por unidad de superficie.

La densidad de un bosque, es una medida que refleja cuantitativamente la presencia de individuos, ya sea en número de árboles, en área basal o en volumen por unidad de superficie (Curtis, 1970).

La densidad de rodal es el segundo factor en importancia, después de la calidad del sitio, para la determinación de la productividad de un sitio forestal; esto es muy importante, la densidad del rodal es el principal factor que el silvicultor puede manejar durante su desarrollo (Daniel *et al.*, 1982).

A través de la ordenación o el manejo de la densidad, el técnico es capaz de influir sobre el establecimiento de las especies durante el periodo de regeneración, modificar la calidad de los troncos, la tasa de crecimiento en diámetro e incluso la producción en volumen durante ese periodo de establecimiento (Daniel *et al.*, 1982).

La cantidad, tipo y distribución de los árboles determinan la densidad de los rodales, definida por el grado de utilización de un sitio por árboles o también por la intensidad de la competencia entre éstos (Davis y Johnson, 1987).

2.3.2 Métodos para Determinar la Densidad de Rodales

Becerra (1995) presenta una clasificación de los índices de densidad basada en las variables que se utilizan para su construcción, donde se incluyen: número de árboles, área del fuste, área basal, diámetro normal, volumen, altura dominante, y espacio de crecimiento. El mismo autor, menciona algunos métodos para estimar densidad: índice ocular, tablas de rendimiento normal, método de D más, método de D veces, densidad puntual de Spurr, ley de autoaclareo, índice de densidad de rodales de Reineke, relación área árbol, factor de competencia de copas y guías de densidad.

En México los métodos que han logrado una mayor aplicación en especies de coníferas y que por lo mismo presentan mayor difusión están descritos en una variedad de reportes (Zepeda, 1984; Becerra, 1985; Aguirre, 1996); citados por Monroy (1997).

- Índice de densidad de rodales de Reineke (IDR) (Reineke, 1933).
- Relación área-árbol (RAA) (Chisman y Schumacher, 1940).
- Factor de competencia de copas (FCC) (Krajicek *et al.*, 1961).

2.3.2.1 Índice de Densidad de Rodales de Reineke

El Índice de Densidad de Rodales, es un indicador del número de árboles por unidad de superficie que un rodal podría tener a un diámetro cuadrático de referencia.

El índice de densidad del rodal más conocido es el presupuesto por Reineke en 1933, quien empleo la relación entre el número de árboles por acre y el diámetro cuadrático promedio. Esta relación funcional se expresa por la ecuación:

$$N = \beta_0 * (d_c)^{\beta_1}$$

o en la forma logarítmica:

$$\log = \log(\beta_0) + \beta_1 \log(d_c)$$

Donde:

N = número de árboles por unidad de área

d_c = Diámetro cuadrático medio

\log = logaritmos naturales o comunes

β_j = parámetros

Mediante la ecuación anterior se obtiene la línea de referencia que puede representar el comportamiento de la densidad máxima posible o la promedio de un conjunto de valores muestrales.

El índice de densidad de rodales de Reineke se calcula para un diámetro cuadrático promedio de 10 pulgadas o su equivalente en el sistema métrico (25.4 cm) mediante la fórmula:

$$IDRR = \beta_0 * (25.4)\beta_1$$

Es decir, el *IDRR* queda definido por el número de árboles de un rodal tiene a un diámetro medio de 25.4 cm o 10 pulgadas.

2.3.2.2 Método de la Relación Área-Arbol

El método de la relación área/árbol (RAA) (Chisman y Schumacher, 1940) propusieron una medida relativa de densidad supuestamente independiente de la edad y de la calidad de sitio, ésta se basa en que el espacio empleado por un árbol se puede representar por un modelo parabólico (Prodan *et al.*, 1998).

Distribuye la superficie del suelo ocupada por la copa de un árbol individual dentro de un rodal normal de acuerdo con su diámetro del fuste. La superficie

del suelo para cada diámetro del fuste se calcula mediante una ecuación cuadrática ajustada por mínimos cuadrados a los datos de una serie de rodales normalmente poblados (Daniel *et al.*, 1982).

El método se basa en el supuesto de que el área de terreno *A* ocupada por un árbol determinado de un rodal puede esta representarse por la ecuación:

$$A = \beta_0 + \beta_1 d + \beta_2 d^2$$

Donde:

d = diámetro del árbol a 1.3 m (DAP).

β_i = parámetros del modelo

Para la determinación de la densidad por este método se seleccionan primeramente sitios de densidad completa en la población de interés, para los que se resuelve la ecuación.

$$\sum_{j=1}^n AJ = \beta_0 n + \beta_1 \sum_{j=1}^n D_j + \beta_2 \sum_{j=1}^n D_j^2$$

Que representa el área total ocupada por n árboles en una unidad de terreno. Con base en los parámetros β_i obtenidos, se puede estimar el área promedio ocupada por un árbol, así como la relación árbol/área.

De acuerdo con Spurr (1952) y Daniel *et al.*, (1982) la RAA representa el área ocupada por los árboles como un porcentaje de la superficie de la parcela considerada.

2.3.2.3 Factor de Competencia de Copas

Este procedimiento fue ideado por Krajicek *et al.*, (1961) y se basa en el supuesto que existe una gran correlación entre el diámetro de copa del árbol que creció libremente, sin interferencias, y su diámetro normal. De otra manera, es la proyección horizontal del área de copa de los árboles de un diámetro determinado, con relación al área máxima de copa para árboles del mismo diámetro que presentaron un desarrollo libre de competencia. Este índice es apropiado para rodales coetáneos e incoetáneos.

El método de competencia entre las copas se diseñó para aportar información acerca de la máxima cantidad de espacio disponible que puede utilizar un árbol y acerca del mínimo necesario para que el árbol pueda sostener su sitio dentro

del rodal (Krajicek *et al.*, 1961). Esto es definen el factor de competencia de copas como la suma de las áreas de copa máximas que alcanzan todos los individuos en el rodal, dividida por el área en que se encuentren (Prodan *et al.*, 1998).

La relación entre el diámetro de la copa (DC) y diámetro normal (d) para árboles aislados se asume de la forma:

$$Dc = \beta_0 + \beta_1 d$$

el área de copa (AC) será:

$$AC = \frac{\pi}{4} * d_c^2$$

O bien

$$AC = \frac{\pi}{4} * (\beta_0 + \beta_1 d)^2$$

El área máxima de copa (AMC), es decir, el área de copa de un árbol aislado de diámetro d , expresada como porcentaje de la unidad de área utilizada comúnmente es:

$$AMC = \frac{\pi}{4} * (\beta_0 + \beta_1 d)^2 / 10$$

2.3.3 Guías de densidad

La primera guía de densidad fue preparada por Gingrich (1967) para rodales de latifoliadas de las tierras altas de los estados centrales de E. U. Leak (1981) menciona que estas guías de densidad “representan un gran paso en la colocación de la silvicultura sobre bases científicas” y el servicio forestal estadounidense lo confirma al adoptarlas como instrumento de uso generalizado por su sencillez y fácil uso (Ernest y Knapp, 1985 citados por Prodan *et al.*, 1998).

Las guías de densidad son diagramas que comparan el número de árboles, área basal y diámetro cuadrático de rodales específicos con los mismos atributos de rodales de densidad máxima (Gingrich, 1967).

A diferencia de un diagrama de manejo una, “guía de densidad “ es una representación gráfica de la relación existente entre las variables dasométricas que aparecen representadas en ella, entre las cuales no figura la variable tiempo, lo que permite al usuario, entre otras cosas, determinar la densidad y grado de densidad de los rodales bajo estudio.

Una guía de densidad sirve para evaluar la densidad y el grado de densidad de un cierto rodal, preponderantemente homogéneo y puro, con base en las variables dasométricas que lo caracterizan: diámetro cuadrático promedio, y número de árboles por unidad de área e indica las relaciones entre el diámetro cuadrático medio del rodal (del árbol de área basal media), área basal por hectárea y número de árboles por hectárea (Zepeda y Villareal 1987; Fierros, 1993; Zepeda, 1995; Aguirre, 1996).

2.3.3.1 Usos de las Guías de Densidad

Como lo señalan Zepeda y Villarreal (1987), entre otros autores, las guías de densidad tienen diferentes aplicaciones entre las que destacan:

- Estimación de diámetros cuadráticos promedio.
- Estimación de la densidad y el grado de densidad.
- Clasificación de rodales por su densidad.
- Evaluación y estudio del comportamiento dinámico de rodales.
- Diseño de regímenes silvícolas.
- Análisis para la sustitución de rodales.

Las guías de densidad resultan las herramientas de apoyo silvícola idóneas para la auditoración técnica dendrométrica de bosques, pues reúnen todos los elementos de medición requeridos para tal efecto. Si el interés es la auditoración técnica se centra en la dinámica de las masas forestales, los diagramas de manejo de densidad son la mejor opción (Zepeda 1995).

Las guías de densidad pueden servir tanto para corroborar la aplicación de una cierta prescripción o tratamiento silvícola intermedio, como para verificar la densidad y grado de densidad residual reportados o indicados en el programa de manejo forestal correspondiente (Zepeda, 1995).

2.4 Análisis Estructural

La estructura de un rodal o bosque se refiere a la distribución de las clases por su edad y/o diámetro y por sus copas. El bosque puede tener una estructura de edad uniforme o no uniforme. Los bosques de edad uniforme se integran con rodales en los que todos los árboles tienen, de modo aproximado, la misma edad, aunque los distintos rodales pueden ser de edades diferentes, (Daniel *et al.*, 1982).

En forma estricta, por estructura de una masa se entiende la por la forma o patrón característico de ubicación o distribución espacial que tienen los árboles en un tiempo determinado. Al referirse propiamente a la estructura de un rodal se hace alusión a la articulación de las partes (árboles) que conforman un sistema estable (rodal), que varía a través del tiempo debido a causas intrínsecas y/o extrínsecas a él. Es decir a la ubicación espacial (vertical y horizontal) que en un momento dado tienen los árboles que constituyen ese rodal (Rivero y Zepeda 1990).

La estructura de un ecosistema se define básicamente por el tipo, número, ordenamiento espacial y ordenamiento temporal de los elementos que lo constituyen. En este contexto destacan principalmente la estructura de especies, la estructura espacial y la estructura dimensional de los ecosistemas (Thomasius y Schmidt, 1996 citados por Aguirre 1998).

La estructura de cualquier género de vegetación es definida por 3 componentes: la estratificación de la vegetación, la distribución espacial de los individuos y la abundancia de cada especie (Kershaw, 1985; citado por Pinto 1990).

El conocimiento de la estructura diamétrica de un rodal, además de permitir estimaciones de la distribución probable de productos, posibilita tomar

decisiones sobre el tratamiento silvícola más conveniente dado un cierto objetivo de manejo y la condición "real" del rodal (Zepeda, 1990).

La distribución diamétrica indica la frecuencia con que aparece representada una cierta clase de diámetro en el rodal. Permite tener una visión exacta de la estructura del rodal.

Una de las tareas del manejo forestal es la búsqueda de nuevos métodos de inventario y planeación de los ecosistemas forestales, particularmente en una época en que se generan múltiples discusiones sobre la conservación y fomento de la biodiversidad, a la par que se observa un incremento en la demanda de los productos forestales. De particular importancia es la generación de esquemas de gestión de los recursos forestales en ecosistemas mixtos multicohortales, que representan los escenarios deseables a futuro en muchas regiones (Aguirre *et al.*, 1998a).

El estudio de la distribución espacial de las masas arboladas es de gran interés en el ámbito de la dasometría. Está relacionada con el crecimiento de los árboles (Pukkala, 1989b) y por tanto, de las masas arboladas (Pukkala, 1988, 1989a en Condes y Martínez, 1998).

Dice (1952) parece ser el primero que utilizó la distancia ente vecinos más cercanos dentro de la medición al inicio de la distribución al azar. El proceso consiste en la medición de la distancias desde un individuo seleccionado al azar; esto es, el vecino más cercano en cada uno de los seis árboles del área circular rodeando al elegido o "centro de origen" (en Clark & Evans 1954).

Una forma para describir la estructura espacial de un bosque es el uso de los atributos de los árboles vecinos, en los niveles de tamaño, distancias y especies (Gadow y Hui, 1998).

Para la descripción hacia la estructura horizontal y vertical, Von Gadow (1993) propuso la determinación de la diferenciación para medias de la relación entre 2 árboles vecinos.

El contar con información cuantitativa referida en tiempo y espacio sobre la estructura de los ecosistemas forestales, es condición básica para el análisis de este atributo desde el punto de vista dinámico. La descripción tradicional de tales ecosistemas comprende normalmente, junto a variables medibles como área basal, diámetro y alturas, una serie de variables categóricas que describen de manera cualitativa la estructura de los mismos mediante conceptos subjetivos dependientes de la persona que realiza el análisis y que, por tanto, no son reproducibles (Gadow, 1993).

Los cambios en la estructura de los ecosistemas por sucesión natural o influencias antropogénicas pueden de esta manera suponerse, pero no evaluarse cuantitativamente Aguirre (1998).

Condes y Martínez (1998) consideran generalmente que las masas arboladas pueden responder a alguno de los siguientes tipos de distribución espacial:

1). Aleatoria :En esta distribución los árboles están distribuidos al azar en todo el espacio disponible. No existe ningún tipo de interacción entre los mismos. Deben cumplirse dos condiciones para aceptar este tipo de distribución espacial: (una forma de representar estos patrones espaciales matemáticamente es mediante distribuciones de tipo Poisson).

- Todos los puntos del espacio tienen la misma probabilidad de ser ocupados por un árbol.
- La presencia de un individuo en cierto punto no afecta a la ubicación de otro individuo.

2). Regular: Este tipo de distribución es aquella en la que los árboles tienen tendencia a mantener entre sí una distancia más o menos constante. Surge como consecuencia de una población o como respuesta a una fuerte competencia (i. e. una plantación).

3). Agregados: Como consecuencia de la interacción entre árboles que componen una masa forestal, o bien como consecuencia de la falta de homogeneidad del terreno, aparecen grupos de árboles alternándose con espacios abiertos. Este tipo de distribución se denomina como agregados, conglomerados o en grupos.

Los mismos autores también señalan que existen tres grupos de índices que permiten diferenciar entre los tipos de distribución antes mencionados.

- a). Índices basados en la discretización del espacio ocupado por los árboles.
- b). Índices basados en el cálculo de distancias.
- c). Índices basados en la mapificación de los árboles.

El conocimiento y la representación cuantitativa de la estructura de los ecosistemas forestales han ido adquiriendo mayor importancia frente a la gran diversidad de servicios que se están generando en dichos ecosistemas.

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

2.4.1 Procedimientos para la Caracterización Estructural en Rodales Multicohortales

La caracterización de la estructura del estrato arbóreo de ecosistemas forestales debe basarse en índices cuantitativos que permitan analizar objetivamente influencias antropogénicas o procesos de sucesión natural (Aguirre, 1998).

La utilización de los índices basados en el cálculo de distancias relacionan la distancia entre un árbol elegido al azar y su vecino más cercano (árbol-árbol) con la distancia entre un punto situado al azar y el árbol más cercano (punto-árbol).

Las distancias desde un individuo hacia los vecinos más cercanos, sin tomar en cuenta la dirección, suministran las bases para estas mediciones de espaciamiento.

Aguirre (1998) menciona algunos índices para caracterizar la estructura de dimensional y espacial del estrato arbóreo, cuyos índices son:

2.4.1.1 Índice de Distancias

Este índice caracteriza la distribución individual de los árboles en un bosque en base a la distancia del árbol de referencia cero i a su vecino más cercano (Pommerening *et al.*, 1996; Pommerening, 1997).

$$D_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n d_{ij}$$

Donde:

d_{ij} = distancia del árbol i -ésimo a su vecino j -ésimo

2.4.1.2 Índice de Agregación R de Clark & Evans

Otro índice que utiliza la distancia para describir la agregación de árboles en una parcela fue descrito por Clark y Evans R (1954).

El índice R describe la relación entre la distancia media observada (\bar{r} observada) entre los árboles de un área dada y sus vecinos próximos y la distancia media (\bar{r} esperada) para una distribución aleatoria del arbolado:

$$R = \frac{\bar{r}_{observada}}{\bar{r}_{esperada}}$$

2.4.1.3 Índice de Angulos W_i

El índice de ángulos W_i (Gadow *et al.*, 1998) describe la regularidad de la distribución de los árboles vecinos a un árbol-cero de referencia i . La determinación de este índice se basa en la medición de los ángulos entre dos vecinos al árbol-cero i y su comparación con el ángulo estándar α_0 obtenido mediante:

$$\alpha_0 = 360 / n \pm 360 / 10 n$$

n = número de árboles vecinos considerados

2.4.2 Funciones de Distribución

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

La gran mayoría de las investigaciones en el campo forestal se ha concentrado en explicar la estructura conocida de un rodal por funciones matemáticas denominadas funciones de probabilidad de densidad, *fdp* (probability density functions), que describen la distribución de frecuencia relativa y/o absoluta de los distintos tamaños de los árboles.

Para las diversidad de formas de distribución que se presentan en los bosques se han probado una serie de funciones entre las cuales se cuentan la normal, exponencial, binomial, Poisson, Charlier, series de Fournier, normal logarítmica,

SB de Johnson, Pearl, Reed, Schiffel, Gamma, Beta y Weibull (Prodan *et al.*, 1998).

La función Weibull desarrollada por Fischer y Tippet (1928), y aplicada por Weibull en (1939), cuya función de densidad de probabilidad es:

$$f(x) = \left(\frac{c}{b}\right) \left(\frac{x-a}{b}\right)^{c-1} \exp\left[-\left(\frac{x-a}{b}\right)^c\right]$$

Donde:

a , b , c = parámetros de la distribución, de posición, de escala y de forma, respectivamente

El modelo es muy flexible y puede asumir una amplia variedad de formas, dependiendo de los valores de c . Es muy popular en el campo forestal y ha sido utilizado en numerosos trabajos que tratan el tema de modelos de simulación del desarrollo de rodales (Cano 1984; Bijit 1998; Von Gadow, 1983^a; Torres-Rojo, Douglas Brodie, 1990; Nívar y Contreras, 2000).

El número de árboles por categoría diamétrica, na_{ij} puede ser estimado con el ajuste de una distribución de probabilidades a través del parámetro (x_i) de la distribución probabilística Weibull con el conocimiento del diámetro promedio o centro de intervalo de clase, d_{ij} que se desea estimar (Nívar *et al.*, 1996).

De acuerdo con la complejidad de la *fdp* a sus posibilidades de linearización, a la existencia de algoritmos y a la disponibilidad de recursos computacionales, existen diversos métodos para el cálculo de los parámetros.

Entre los métodos más usados, están indudablemente el método de máxima verosimilitud, el método de cuadrados mínimos, el método de los momentos y

el método de los percentiles (Prodan *et al.*, 1998). Para ver ejemplos de estos procedimientos ver reportes de Návar y Contreras (2000) y Návar y Corral (2000).

Sin embargo el objetivo final de disponer *fdp* no es solamente contar con una buena representación de la estructura del bosque en un momento dado sino la posibilidad de proyectarla a través del tiempo.

Esto se logra por dos procedimientos básicos para estimar los parámetros de las *fdp*. y proyectarlos de acuerdo con los cambios de estructura que sufra el rodal, (i) método de predicción de parámetros y (ii) método de recuperación de parámetros.

2.4.2.1 Coeficiente de Homogeneidad (*H*) De Camino (1976)

El cual se define por la relación porcentual entre número de árboles y volumen por categorías diamétricas. En un rodal totalmente homogéneo todos los árboles tienen el mismo volumen; en un rodal heterogéneo un alto porcentaje de árboles representa una proporción pequeña de volumen, mientras que pocos individuos contribuyen con la mayor proporción volumétrica.

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

El coeficiente de homogeneidad *H* se determina mediante:

$$H = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} SN\%}{\sum_{i=1}^{n-1} SN\% - SV\%} \quad \text{Donde:}$$

SN% = suma de los porcentajes de número de árboles hasta la categoría diamétrica *i*

SV% = suma de los porcentajes de volumen hasta la categoría diamétrica *i*

2.4.2.2 Índice de Diferenciación Diamétrica *TD*

Otro de los índices utilizados es el índice de diferenciación dimensional. La descripción hacia la estructura horizontal y vertical propuesta por Von Gadow (1993) define la determinación de la diferenciación para medias de la relación entre 2 árboles vecinos:

Índice de diferenciación Diamétrica

$$TD_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n t_{ij}$$

t_{ij} Se obtiene de la relación de los diámetros normales de árboles vecinos sustraída de 1:

$$t_{ij} = 1 - \frac{d(\text{menor})}{d(\text{mayor})}$$

el valor de la diferenciación diamétrica se obtiene mediante:

$$\overline{TD} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N T_{ij}$$

N = número de árboles del rodal

2.4.2.3 Índice de Diferenciación en Altura *TH*

Otro índice que se obtiene de la misma manera que el anterior es el índice de diferenciación en alturas, *TH_i*, el cual:

$$TH_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n th_{ij}; \quad th_{ij} = \frac{h(\text{menor})}{h(\text{mayor})}$$

el valor de la diferenciación en altura se obtiene mediante:

$$\overline{TH} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N TH_{ij}$$

N = número de árboles del rodal

2.4.3 Otros Índices para Describir la Estructura Espacial

Condes y Martínez (1998) mencionan otros índices que se han utilizado en la descripción de la distribución espacial haciendo uso de las distancias entre vecinos más cercanos como:

2.4.3.1 Índice de Hopkins y Skellam (1954)

Se basan en el hecho de que si la distribución espacial es aleatoria, la distribución de las distancias entre puntos y árboles es idéntica a la distribución de las distancias entre árboles. Con este fundamento definen el índice:

$$IHS = \frac{\sum_{i=1}^n d_{pt}^2}{\sum_{j=1}^n d_{\mu}^2}$$

Donde d_{μ} es la distancia entre un árbol seleccionado al azar y su vecino más cercano y d_{pt} la distancia entre un punto situado al azar sobre el terreno y el árbol más cercano; n es número de puntos y árboles tomados al azar. La selección aleatoria del punto i para la medición de la distancia d_{pt} y la selección del árbol para la medición de la distancia d_{μ} deben ser

independientes entre sí. Este índice toma valores inferiores a 1 en caso de distribuciones de tipo regular y superiores a 1 al aplicarlo a distribuciones con agregados.

Byth y Ripley (1980) modificaron el índice anterior de la siguiente manera:

$$IBR = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{d_{pt}^2}{d_{pt}^2 + d_{\mu}^2}$$

En el caso de un proceso de tipo de distribución aleatoria las distancias punto-árbol y las distancias árbol-árbol seguirán la misma distribución lo que implica que el índice tomara el valor 0.5. En el caso de distribuciones con agrupamiento las distancias entre árboles serán menores que las distancias punto-árbol, es decir, el índice tomara valores entre 0.1 y 1.0. para distribuciones regulares el índice toma valores inferiores a 0.5. Estos dos índices son llamados índices de F y N de Hopkins, respectivamente.

2.4.3.2 Índice de Batcheler (1971)

Este autor propone un índice cuya expresión es similar a la del índice de Hopkins, sin embargo, en este caso no existe independencia entre las mediciones d_{pt} y d_{μ} . La manera de calcularlo es seleccionar un punto al azar en el terreno y buscar la distancia al árbol más cercano (d_{pt}), la distancia al vecino más próximo (d_{μ}) se mide desde dicho árbol:

$$IB = \frac{\sum_{i=1}^n d_{pt}}{\sum_{i=1}^n d_{\mu}}$$

Por supuesto, una distribución de los árboles de tipo regular da como resultado valores del índice más bajos que una distribución con agregados.

3. MATERIALES Y METODOLOGIA

3.1 Descripción del Área de Estudio

3.1.1 Localización

Geográficamente el área de estudio se localiza al sureste de la cabecera municipal de Galeana, N. L., entre las coordenadas 24° 27' 45" y 24° 32' 32" de latitud norte y los 99° 54' 21" y 100° 01' 17" de longitud occidental, referidas al Ecuador y Meridiano de Greenwich respectivamente. Administrativamente se localiza dentro del área de influencia del Distrito de Desarrollo Rural Galeana y de la Unidad de Conservación y Desarrollo Forestal No. 1 "GALEANA" (Figura 1).

3.1.2 Colindancias

Norte: segunda ampliación del ejido Pablillo.

Sur : pequeñas propiedades.

Este : pequeñas propiedades.

Oeste: primera ampliación ejido Pablillo

3.1.3 Superficies

Total	6,800.00.00 ha
Arbolada	1,822.00.00 ha
Arbolada aprovechable	1,722.00.00 ha
No arbolada	4,978.00.00 ha
Agrícola	52.00.00 ha
Silvopastoril	6,748.00.00 ha

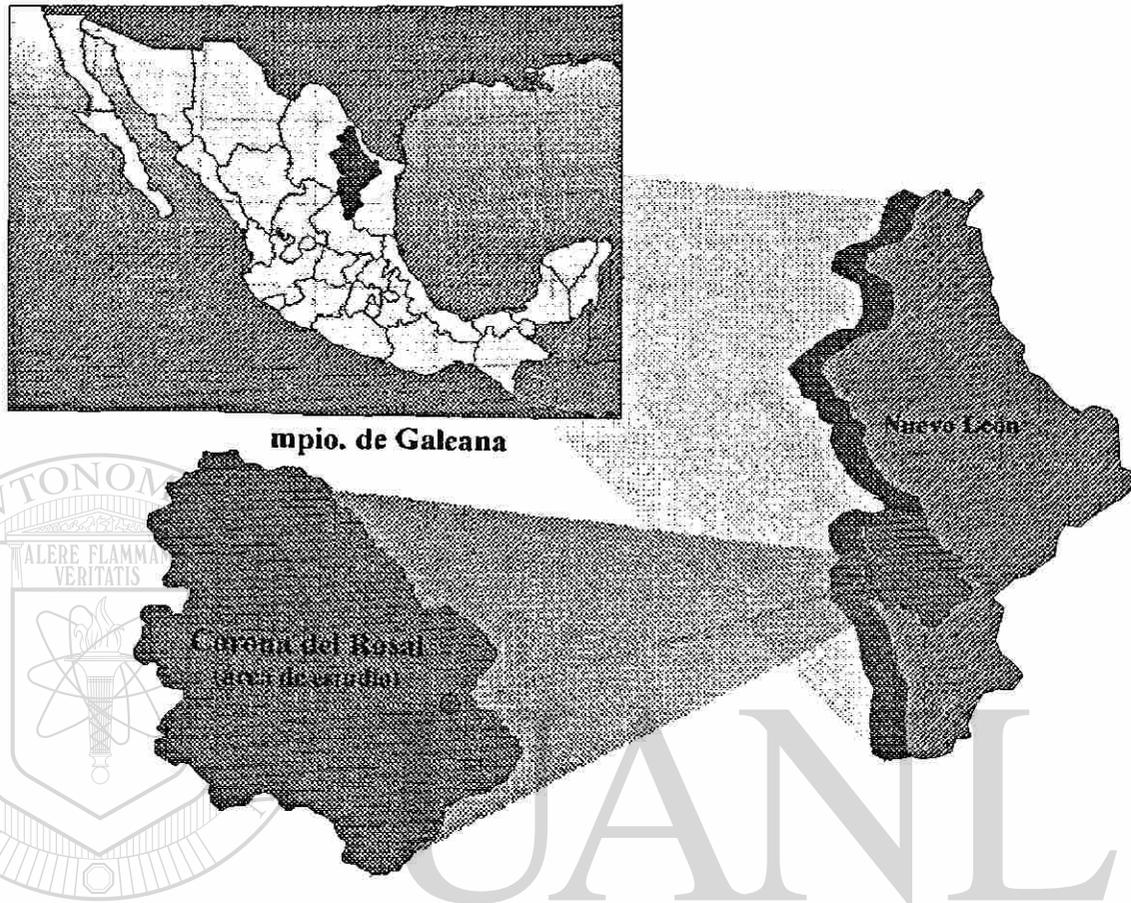


Figura 1: Localización del área de estudio

3.1.4 Características por Cuencas Hidrológicas

El predio se localiza en la región hidrológica RH-25 conocida también como San Fernando Soto La Marina, que corresponde a todas las corrientes que desembocan en el Golfo de México y está comprendida en las cuencas del Río Limón y Pánuco. De la superficie de esta cuenca corresponde aproximadamente un 20% para el estado de Nuevo León.

La cuenca hidrológica 25-D Río San Fernando tiene una superficie dentro del estado de Nuevo León de 8,839 Km². El Río San Fernando es uno de los más

importantes dentro del territorio mexicano que desemboca en el Golfo de México. Nace con el nombre de Río Pablillo, unos 60 Km., al sudoeste de Linares N. L., cerca de los Cerros Pablillo e Infiernillo a 3,167 msnm, este río corre con dirección noreste pasando por Linares posteriormente se le une por el margen derecho el Río Camarones y el Arroyo de los Abnegados y por el margen izquierdo el Arroyo Santa Rosa, el Río Camacho, El Río Potosí y el Arroyo Pamona continúa hacia el oriente hasta Villa Méndez, en éste último tramo recibe varias aportaciones por ambas márgenes sigue hacia el sudeste desviándose posteriormente hacia el noreste hasta desembocar en la Albufera Laguna Madre y de ésta al Golfo de México. Tiene como subcuenca intermedia al Río Conchos (25-DB), Río San Lorenzo (25-DC), Río Potosí (25-DD), Río Limón (25-DE), y Arroyo Camacho (25-DF) (Plan de Manejo UCODEFO No. 1, 1996).

3.1.5 Fisiografía

El Ejido Corona del Rosal se localiza en la provincia fisiográfica de la Sierra Madre Oriental, la cual corre desde sus límites con la del Eje Neovolcánico en sentido paralelo a la costa del Golfo de México.

La Sierra Madre Oriental es fundamentalmente un conjunto de sierras menores de estratos plegados. Estos estratos son de antiguas rocas sedimentarias marinas (del cretácico y del jurásico superior) entre las que predominan las calizas y en segundo término las arcillosas y arsenicas.

Las subprovincia dentro de la cual se localiza el predio es la Gran Sierra Plegada, en ella dominan las capas plegadas de calizas con predominantes ejes estructurales de anticlinales y sinclinales, una gran falla inversa corre sobre los bordes orientales de la sierra en tanto se extienden más o menos paralelas a aquellas y a los ejes estructurales, también hay afloramientos yesíferos

paralelos en el mismo sentido particularmente del lado occidental de la sierra y fosforitas, las cumbres generales de la sierra sobrepasan por un buen margen los 2000 msnm y llegan cerca de los 3000 m.

3.2 Descripción de *Pinus pseudostrobus*

Arbol de tamaño medio o grande, 15-40 m de alto, con copa de ramas largas y pesadas. Corteza rugosa, gris, algunas veces rojiza en las fisuras. Ramillas pruinosas, lisas, brácteas deciduas con las bases decurrentes bien espaciadas, frecuentemente hundidas e incospícuas.

Hojas verde oscuro, algunas veces glaucas, en grupos de 5, raramente 4 o 6; de 16-35 cm de largo, 0.75-1.25 mm de ancho, extendidas o péndulas. Vainas persistentes de 15 a 25 mm de largo. Canales resiníferos usualmente medios de 2-4, algunas veces de 5-6.

Conos café claro o cafés; ovoides, largos-ovoides a cilíndricos, de 7-12 cm de largo algunas veces más grandes, de 5-11 cm de ancho, ligeramente curvados, robustos y firmes; sésiles, pedúnculo poco más de 1.0 cm de largo; persistentes, algunas veces dejando pocas escamas en la ramilla cuando cae; escamas delgadas con apófisis aplanadas o abultadas de 10-12 mm de ancho; espina decidua o algunas veces persistente (Favela, 1991).

Reino:	Vegetal	Subfamilia:	Abietíneae
División:	Spermatophyta	Género:	Pinus
Subdivisión:	Gymnospermae	Sección:	Pseudostrobus
Orden:	Coniferales	Especie:	<i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl.
Familia:	Pinaceae.		

3.2.1 Distribución y Hábitat

En México: en los Límites de Durango y Sinaloa, en Nuevo León, SE de Coahuila, E Guanajuato, Jalisco, Michoacán, México, Distrito Federal, Morelos, Hidalgo Puebla, Tlaxcala, W Central de Veracruz, Guerrero, Oaxaca, Chiapas; Ocorre también en Guatemala, el W de Honduras y al N del Salvador (Farjon & Styles, 1997) (figura 2).

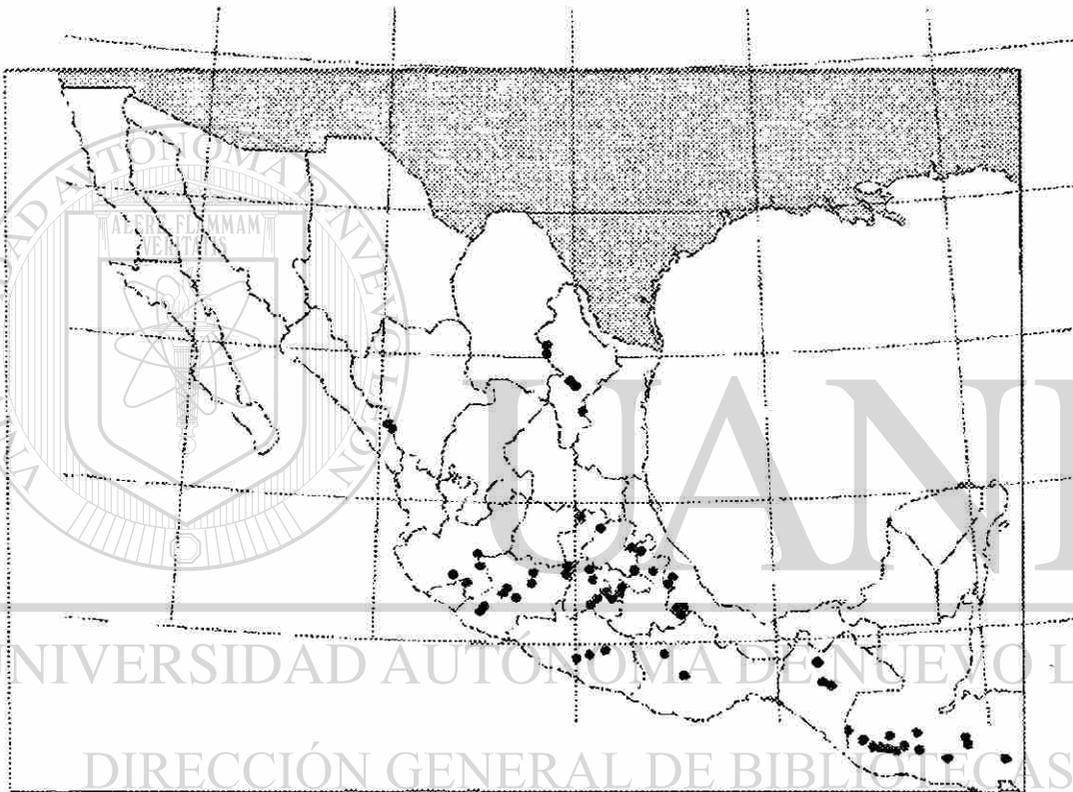


Figura 2: Distribución de *Pinus pseudostrobus* (Modificado de Farjon & Styles, 1997).

3.3 Obtención de los Datos

Para la obtención de la información de campo se establecieron en el área de estudio dos tipos de sitios de muestreo, en función de los objetivos propuestos;

sitios circulares de 500 m² y sitios de dimensiones variables bajo el método de muestreo de seis árboles.

3.3.1 Sitios Circulares de 500 m²

Se realizó un levantamiento de información en 63 sitios circulares con una superficie de 500 m² mediante el sistema de muestreo aleatorio, los sitios se distribuyeron en los 5 rodales objeto de estudio, comprendiendo una superficie de 200 ha en el predio Corona del Rosal. Las principales variables dasométricas que se midieron fueron el diámetro normal (DAP), altura total y altura del fuste limpio, de las cuales se derivó el volumen promedio y total así como área basal; adicionalmente se obtuvieron los diámetros de copa en sentido norte-sur y este-oeste respectivamente. Además de las variables dasométricas antes mencionadas se registro la ubicación de cada árbol espacialmente a partir de la distancia al centro del sitio y el azimut, y de manera general la sanidad de arbolado, daños presentes en el mismo. Una vez colectados los datos de campo se procedió a elaborar una base de datos para el cálculo de las variables dasométricas de los rodales, la evaluación de su productividad y densidad. A partir de los datos de estos sitios se generaron así mismo los grupos estructurales de cuatro y cinco árboles para la aplicación de índices para caracterizar la estructura dimensional y espacial de estos rodales.

3.3.2 Sitios de Dimensiones Variables

Se establecieron en 57 sitios de muestreo, en localidades con características de alta densidad, pureza y coetaneidad, para diferentes edades. El sistema de muestreo empleado fue desarrollado por Prodan (1968) y se denomina prueba de muestreo de los 6 árboles. Este método de muestreo consiste en seleccionar sitios tratando de incluir todos los estratos diamétricos y de altura que existen

en predio objeto de estudio. Bajo este esquema se toma un punto al azar el cual será el centro del sitio y además 6 árboles vecinos. El área del sitio está dada por la distancia del punto medio del árbol centro al sexto árbol más próximo, así como el diámetro de este árbol. El procedimiento de inventario prueba de los seis árboles, posibilita la realización de levantamientos representativos aún en áreas pequeñas del rodal. Los diferentes parámetros del mismo se determinan por este procedimiento con la exactitud requerida en el marco del manejo forestal (Ko *et al.*, 1969 en Aguirre 1991). Las variables obtenidas en estos sitios fueron el diámetro normal, la altura y el radio del sitio.

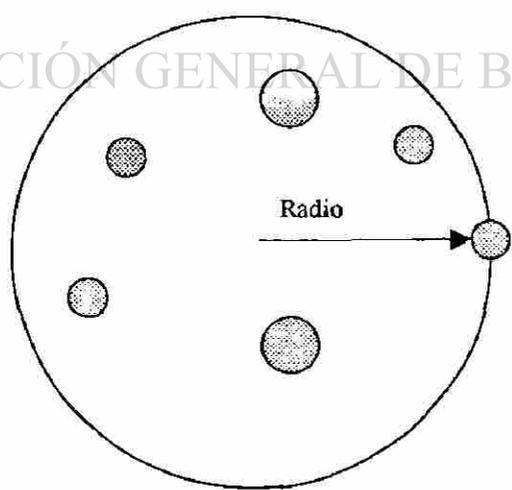
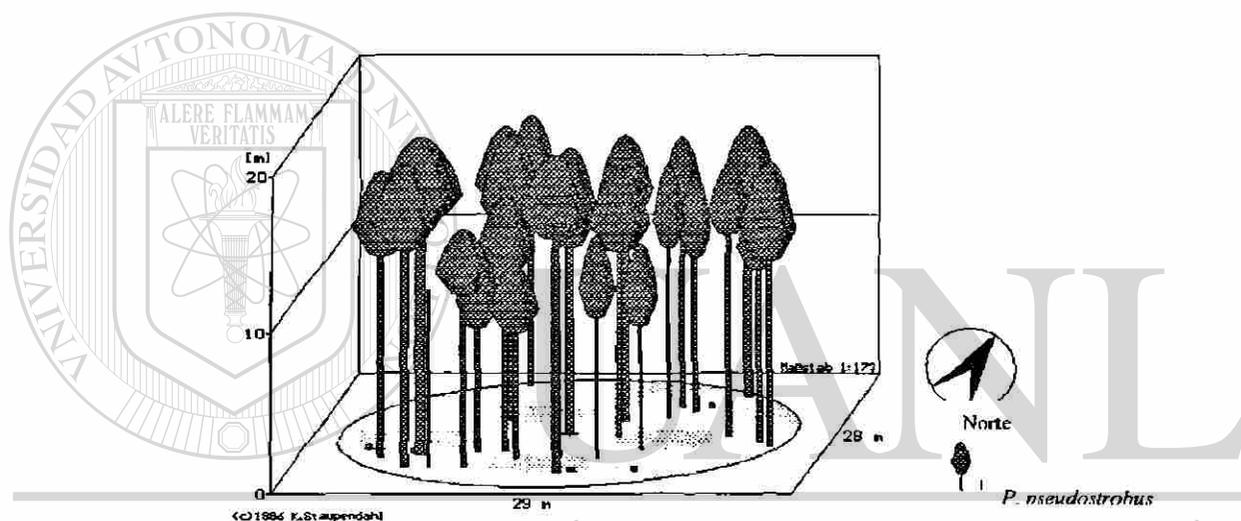


Figura 3: Sitios de 500 m² y de dimensiones variables (Kramer y Akça, 1987)

3.3.3 Parámetros Dasométricos

A partir de la información de campo se creó una base de datos para los dos tipos de sitios de muestreo establecidos. Los procedimientos de cálculo para la obtención de los parámetros dasométricos de interés se describen en los siguientes incisos:

3.3.3.1 Sitios de 500 m²

Para el cálculo del área basal por hectárea se obtuvo mediante la formula:

$$G = \frac{\pi d^2}{4} = 0.7854 * (d)^2$$

donde:

G= área basal por hectárea en m²

d= diámetro normal

Para obtener el número de árboles por hectárea se estimó un promedio del número de árboles por sitio, y se extrapolo por ha.

Para estimar el volumen por hectárea, se utilizó el modelo generado por Jiménez (1990) el cual se aplicó a cada uno de los sitios por rodal, derivándose el volumen por sitio, así como el volumen/ha para cada rodal, respectivamente. La función utilizada fue la siguiente:

$$V = 0.980931 * \left(\frac{\pi}{4} * \left(\frac{d}{100} \right)^2 * h * f \right)$$

donde:

d = diámetro

h = altura

f = coeficiente mórfico

La información obtenida mediante este sistema de muestreo se utilizó para caracterizar los rodales de acuerdo con su volumen y área basal así como ubicarlos de acuerdo a su condición de densidad empleando la guía elaborada en el marco de este trabajo. Además, para esta base de datos se aplicaron los métodos para caracterizar la estructura horizontal y vertical de los rodales objeto de estudio, mediante la generación de mapas de distribución de los individuos en el sitios, estableciendo grupos estructurales de cuatro y cinco árboles.

3.3.3.2 Sitios de muestreo de Seis Árboles

El cálculo del radio del sitio se efectuó de acuerdo con la fórmula propuesta por Prodan (1968).

$$r_6 = a_6 + \frac{1}{2} d_6$$

donde:

a_6 = distancia de la periferia interior del sexto árbol al punto medio del sitio (m)

d_6 = diámetro normal del sexto árbol (cm)

El área basal por hectárea se calculó de acuerdo a la relación:

$$G = \frac{2500}{r_6^2} (d_1^2 + d_2^2 + \dots + d_5^2 + \frac{1}{2} d_6^2)$$

d_1, \dots, d_6 = diámetro normal cm

El número árboles por hectárea se determinó de acuerdo a la fórmula propuesta por Sloboda (1976) para todos los procedimientos de inventario basados en una distancia punto-árbol:

$$N = \frac{10^4}{(R_n)^2} * \left[\frac{(2n-1)!!}{(n-1)!2^n} \right]^2$$

Para la prueba de los 6 árboles se obtuvo empleando la fórmula (Kramer y Akça 1987):

$$N = \frac{18320}{r_6^2}$$

N = valor esperado de número de árboles por hectárea

n = número de árboles por sitio

$(2n-1)!! = 1 \cdot 2 \cdot 3 \cdot \dots \cdot (2n-3) \cdot (2n-1)$

Rn = radio medio al enésimo árbol

El diámetro cuadrático del árbol con el área basal media se calculó mediante la función (Kramer y Akça 1987):

$$d_g = \sqrt{\frac{\sum d_i^2}{N}}$$

donde:

d_g = diámetro del árbol con el área basal media en cm

d_i = diámetro a la altura del pecho

N = número de árboles por hectárea

La información obtenida mediante el método de muestreo de los 6 árboles, se utilizó para generar el diagrama de índice de densidad, así como la guía de densidad correspondiente.

3.3.4 Índice de Sitio

Para la estimación del índice de sitio, se seleccionaron árboles individuales dominantes, sanos, sin presencia de bifurcación y sin evidencia de daño visibles en los diferentes rodales, tratando de cubrir todas las condiciones de crecimiento de los individuos.

A los árboles seleccionados se les tomaron las variables altura total y edad a 30 cm del suelo; para la estimación de la segunda variable se utilizó el taladro de incrementos, la edad total se determinó añadiendo 3 años a la obtenida a 30 cm de altura.

En índice de sitio se estimó utilizando los valores de alturas dominante y edad de las curvas de índice de sitio generadas por Aguirre (1991), para *Pinus pseudostrobus*, a partir de datos de análisis troncales aplicados en árboles dominantes en toda el área de distribución de la especie en el sur de Nuevo León.

3.3.5 Índice de Densidad de Rodales de Reineke

A los datos provenientes de los 57 sitios de muestreo de seis árboles, los cuales se colectaron en áreas homogéneas, de densidad máxima, sin evidencia de visible de huecos o espacios de crecimiento entre árboles, se les aplicó el modelo propuesto por Reineke (1933).

La relación funcional entre el número de árboles por unidad de área y el diámetro cuadrático medio de cada rodal es de la forma:

$$N = \beta_0 * (dc)^{\beta_1} \quad \text{ó}$$

$$\log^*(N) = \log^* \beta_0 + \beta_1 \log^*(dc)$$

donde:

N = número de árboles por unidad de área

dc = diámetro cuadrático promedio

\log = logaritmos naturales

β_0 = intercepta al origen

β_1 = pendiente de la curva de referencia

De la aplicación de la ecuación anterior se obtuvo la línea de referencia de densidad máxima promedio.

Para la construcción del diagrama de Reineke, se trazaron líneas paralelas a la obtenida mediante la función anterior, que interceptan la línea de diámetro de referencia, mismo que se fijó en 25 cm.

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

3.3.6 Factor de Competencia de Copas

Para la obtención de este factor, se obtuvo información en árboles aislados, libres de competencia, sanos y sin ninguna evidencia de daño. Se seleccionaron 40 árboles, contemplando todas las categorías diamétricas presentes en el área, las variables dasométricas medidas fueron el diámetro normal, altura total y diámetros de copa norte-sur y este-oeste.

Con los datos de estos árboles se aplicó el modelo propuesto por Krajicek *et al.*, (1961) basado en las siguientes relaciones funcionales:

$$DC = \beta_0 + \beta_1 * d$$

$$AC = \frac{\pi}{4} * D_c^2$$

$$AC = \frac{\pi}{4} * (\beta_0 + \beta_1 * d)^2$$

donde:

DC = diámetro de copa (m)

AC = área de copa (m²)

De lo anterior se obtuvo el mínimo número de árboles para garantizar la suficiencia de densidad en los rodales investigados.

3.3.7 Construcción de la Guía de Densidad

Del resultado de índice de densidad de rodales de Reineke, relacionado con el número de árboles y el área basal total, se definió la línea A de 100 % de densidad, la cual se tomó como base para calcular los diferentes grados de densidad a intervalos de 10 %. La línea B o línea de suficiencia, se definió a partir de los valores de número de árboles para diversas categorías diamétricas, obtenidos por el método de factor de competencia de copas (FCC).

3.4 Caracterización Estructural

3.4.1 Índices de Diferenciación Espacial

Los índices aplicados para la descripción de la estructura espacial de los rodales objeto de estudio, se detalla en los siguientes incisos:

3.4.1.1 Índice de Distancias

Este índice caracteriza la distribución individual de los árboles en un bosque en base a la distancia del árbol de referencia i a su vecino más cercano (Pommerening *et al.*, 1996; Pommerening, 1997), y se expresa mediante:

$$D_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^N d_{ij}$$

donde:

d_{ij} = distancias del árbol i -ésimo a su vecino j -ésimo.

La distancia media de árbol i -ésimo a su vecino próximo se obtiene de la función:

$$\bar{D}_i = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N D_{ij}$$

N = número de árboles

Las distancias entre árboles se ubicaron en 10 clases que comprenden rangos de 1m, como ha sido detallado por Aguirre (1998).

Clase 1: $0 \text{ m} \leq D_i < 1 \text{ m}$; clase 2: $1 \text{ m} \leq D_i < 2 \text{ m}$;....; clase 9: $8 \text{ m} \leq D_i < 9 \text{ m}$; clase 10: $9 \text{ m} < D_i$.

3.4.1.2 Índice de Agregación R de Clark & Evans (1954)

El índice de agregación R de Clark & Evans (1954) describe la relación entre la distancia media observada ($\bar{r}_{observada}$) entre los árboles de un área dada y sus vecinos próximos y la distancia media esperada ($\bar{r}_{esperada}$) para una distribución aleatoria del arbolado.

$$R = \frac{\bar{r}_{observada}}{\bar{r}_{esperada}}$$

R toma valores entre 0 y 2.1491 y permite caracterizar la distribución de los árboles en forma regular, aleatoria o en grupos, esto es la estructura horizontal. Valores de R menores de 1 muestran una tendencia al agrupamiento de los individuos, los cercanos a 1 denotan una distribución aleatoria y aquellos mayores a 1 significan que los árboles muestran una distribución con tendencia a la regularidad (Gleichmar y Gerold, 1998; citados por Aguirre, 1998).

El índice R de Clark & Evans se basa en las relaciones de distancia entre árboles vecinos. Para todos los árboles N de una superficie A se obtienen las distancias $r_i, i = 1 \dots N$ a su vecino más próximo. La distancia media ($\bar{r}_{observada}$) se relaciona con la distancia media esperada para la distribución aleatoria del arbolado:

$$\bar{r}_{esperada} = \frac{1}{2\sqrt{N/A}}$$

donde:

A = superficie m^2

N = número de observaciones

Por la utilización de sitios de muestreo, el efecto de borde se eliminó aplicando el método de corrección desarrollado por (Donnelly 1978, citado por Nagel 1994).

$$\bar{r}_{\text{corregida}} = 0.5 * \sqrt{A/N} + 0.015368 * P/N + 0.041 * P/N^{3/2}$$

donde:

N = número de observaciones

A = superficie en m^2

P = perímetro del área en m^2

3.4.1.3 Índice de Angulos W_i

El índice de ángulos W_i describe la regularidad de la distribución de los árboles vecinos a un árbol de referencia i (Gadow *et al.*, 1998). La determinación de este índice se basa en la medición de los ángulos entre dos vecinos al árbol i y su comparación con un ángulo estándar α_0 (Aguirre, 1998), de tal manera que considerando 4 vecinos al árbol de referencia, W_i puede tomar valores de 0 hasta 1, donde un valor cercano a cero representa condiciones de regularidad, valores cercanos al 0.5 muestran tendencia a la aleatoriedad y aquellos próximos a 1 presentan condiciones de agrupamiento.

La determinación de este índice se basa en la medición de los ángulos entre dos vecinos al árbol de referencia i y su comparación con el ángulo estándar α_0 obtenido mediante:

$$\alpha_0 = 360 / n$$

n = número de árboles vecinos considerados

$$W_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n w_{ij}$$

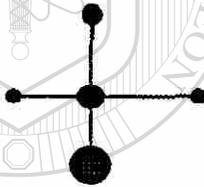
$w_{ij} = 1$ cuando el j -ésimo ángulo α entre dos árboles vecinos próximos es menor o igual al ángulo estándar α_0 , en caso contrario toma un valor de 0.

Si $n = 4$, W_i puede presentar los siguientes valores:

Cuadro 1: Valores de W_i

Valor de W_i	Valor del Angulo α
0.0	Si ninguno de los ángulos α es menor a α_0
0.25	Uno de los ángulos α es menor a α_0
0.50	Dos de los ángulos α son menores a α_0
0.75	Tres de los ángulos α son menores a α_0
1.0	Cuatro de los ángulos α son menores a α_0

Los casos anteriores se ilustran en la figura 4.



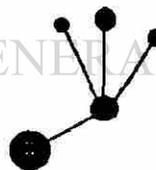
$W_i = 0$



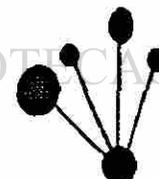
$W_i = 0.25$



$W_i = 0.5$



$W_i = 0.75$



$W_i = 1$

Figura 4: Valores del Índice de ángulos W_i en diferentes situaciones.

3.4.2 Índices de Diferenciación Dimensional

Para la descripción de la estructura dimensional se emplearon diversos métodos los cuales se aplicaron a los datos obtenidos para los diferentes rodales, como se describe a continuación:

3.4.2.1 Funciones de Distribución

Para representar la estructura diamétrica por rodal se utilizaron los valores de intervalos de clase de 5 cm y las frecuencias absolutas para número de árboles, y se aplicó la función de probabilidad de densidad Weibull, que describe la distribución de frecuencias absolutas de las categorías diamétricas considerados.

La función de densidad de probabilidad es:

$$f(x) = \left(\frac{c}{b}\right) \left(\frac{x-a}{b}\right)^{c-1} \exp\left(-\left(\frac{x-a}{b}\right)^c\right)$$

donde:

a , b , c = parámetros de la distribución, de posición, de escala y de forma, respectivamente.

Para el ajuste de la curva de la distribución de probabilidad Weibull de tres parámetros, se utilizó el paquete estadístico SAS mediante el programa computacional denominado "método para estimar los parámetros de la distribución Weibull" basado en el método de momentos convencionales, desarrollado por Nívar y Contreras (1999) y Nívar y Corral (2000).

Con los parámetros obtenidos se estimaron las frecuencias esperadas para realizar la prueba de bondad de ajuste, la cual consiste en comparar los valores obtenidos para la frecuencia esperada (f_x esperada) contra los valores observados (f_x observada) por medio de la prueba de X^2 , para cada uno de los rodales, la ecuación para esta prueba es:

$$X^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(f_i - F_i)^2}{F_i}$$

donde:

f_i = a las frecuencias observadas

F_i = a las frecuencias esperadas

3.4.2.2 Coeficiente de Homogeneidad (H) (De Camino, 1976)

Este se define por la relación porcentual entre número de árboles y volumen por categorías diamétricas, y se basa en el hecho de que en un rodal totalmente homogéneo todos los árboles tienen el mismo volumen, mientras que en uno heterogéneo un alto porcentaje de árboles representa una proporción pequeña de volumen, y pocos individuos contribuyen con la mayor proporción volumétrica.

El coeficiente de homogeneidad H se determina mediante:

$$H = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} SN \%}{\sum_{i=1}^{n-1} SN \% - SV \%}$$

donde:

$SN\%$ = suma de los porcentajes de número de árboles hasta la categoría diamétrica i

$SV\%$ = suma de los porcentajes de volumen hasta la categoría diamétrica i

3.4.2.3 Índice de Diferenciación Diamétrica TD

Este índice se utilizó para la descripción de la estructura diamétrica de los ecosistemas como complemento a las funciones de distribución y permite la diferenciación cuantitativa de las dimensiones de árboles vecinos (Gadow 1993; Fuldner y Gadow, 1994; Albert *et al.*, 1995, Aguirre; 1998).

Índice de Diferenciación Diamétrica se calcula de la función:

$$TD_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n tdij$$

$tdij$ = Se obtiene de la relación de los diámetros normales de árboles vecinos sustraída de 1:

$$tdij = 1 - \frac{d(\text{menor})}{d(\text{mayor})}$$

el valor medio de la diferenciación diamétrica se obtiene mediante:

$$\overline{TD} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N TD_i$$

N = número de árboles del rodal

Un valor de $TD_i = 0$ significa que ambos árboles tienen el mismo diámetro normal, por lo tanto a medida que incrementa la diferencia en diámetros entre vecinos se incrementa el valor de Td_i , (compare la figura 6).

3.4.2.4 Índice de Diferenciación en Altura TH

De manera análoga al anterior se obtuvo el índice de diferenciación en alturas, TH_i , el cual se expresa por:

$$TH_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n th_{ij};$$

$$th_{ij} = \frac{h(\text{menor})}{h(\text{mayor})}$$

el valor medio de la diferenciación en altura se obtiene mediante:

$$\overline{TH} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N TH_i$$

N = número de árboles del rodal

En la figura 5 se presentan ejemplos de valores de TD_i y TH_i para los tres vecinos próximos al árbol de referencia.

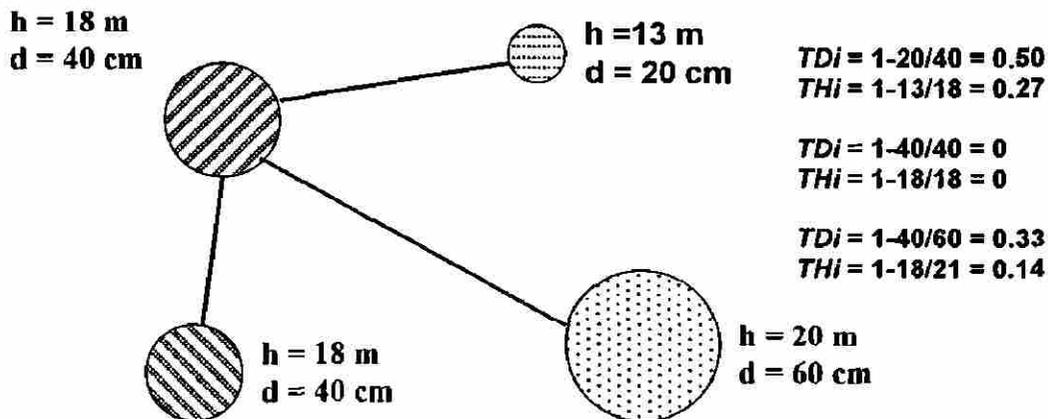


Figura 5: Ejemplos de índices de diferenciación en diámetro y altura

Para caracterizar los índices de diferenciación dimensional TD y TH , los valores obtenidos se distribuyeron en 10 Clases de diferenciación (Füldner 1995), ($0 \leq$ clase 1 < 0.1, $0.1 \leq$ clase 2 < 0.2, $0.2 \leq$ clase 3 < 0.4..... $0.9 \leq$ clase 10.

Asimismo, se integraron grupos de diferenciación dimensional (Aguirre et al., 1998) de acuerdo a las siguientes categorías:

Cuadro 2: Valores de TD y TH en grupos

Valor de TD y/o TH	Diferenciación
0.0 -- 0.2	Escasa
0.2 -- 0.4	Moderada
0.4 -- 0.6	Media
0.6 -- 0.8	Alta
0.8 -- 1.0	Muy Alta

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Parámetros Dasométricos

En el cuadro 3 se muestran los valores de los parámetros dasométricos principales para los 5 rodales considerados en este estudio. Se observa que los rodales con mayor volumen son el 1 y el 5 con valores de $273.72 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}$ y $282.55 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}$, respectivamente; correspondientemente estos mismos rodales presentan los más altos valores en área basal y altura. En cuanto a número de árboles por hectárea, los rodales 2 y 4 son los que presentaron mayores valores con 540 y 551 árboles respectivamente, En lo que respecta al diámetro medio los rodales 3 y 5 son los que presentan los valores más altos.

Cuadro 3: Atributos dasométricos de los rodales

Rodales	Diámetro Medio	Altura Media	Número Árboles/ha	Volumen m^3ha^{-1}	Area Basal m^2ha^{-1}
1	27.10	14.63	496	273.72	32.01
2	24.31	9.73	540	209.87	31.61
3	28.66	13.57	356	196.16	26.32
4	21.41	11.23	551	187.42	27.17
5	30.17	12.60	426	282.55	36.23

1020130921

4.2 Estimación del Índice de Sitio

En el cuadro 4 se muestran los valores promedio de índice de sitio por rodal. Se observa que la mayoría de los rodales se ubican en la curva de índice de sitio de 16 m, con excepción del rodal 3 (IS = 18.5). El área de estudio presenta por tanto una condición de productividad media.

Cuadro 4: Valores promedio por rodal para índice de sitio.

Rodal	Altura m	Edad	Índice de Sitio
1	17	62	16.0
2	16	61	16.0
3	17	59	18.5
4	15	57	16.0
5	19	73	16.0

El mayor índice de sitio del rodal 3 puede explicarse por la mayor profundidad de suelo y la exposición predominantemente zenital. Es contrastante, sin embargo, que es el que presenta los menores valores de densidad (compare cuadro 5), producto de intervenciones silvícolas anteriores y una escasa presencia de arbolado joven.

4.3 Estimación de la Densidad

Para la estimación de este parámetro y específicamente para la elaboración del diagrama y la guía de densidad, se presentan los valores obtenidos por medio del método de índice de densidad de rodales de Reineke (IDRR) y el factor de competencia de copas (FCC).

4.3.1 Índice de Densidad de Rodales de Reineke

La línea de referencia de densidad máxima promedio obtenida del modelo propuesto por Reineke (1933) presentó un ajuste aceptable, con r^2 de 96.52 % y un 12 % de error estándar porcentual. Los resultados del análisis de regresión el modelo en forma no lineal se presentan en el cuadro 5.

Cuadro 5: Análisis de regresión para número árboles - diámetro cuadrático

Parámetros	Valor estimado	Error estándar	Valor de T	Nivel de prob.
Intercepta	142341.7	3558.4	40	0.0001
Pendiente	-1.56800	0.012	-129.27	0.0001

El modelo adopta la siguiente expresión:

$$N = 142341.70 * (d_{cr})^{-1.567806}$$

De esta manera, para un diámetro cuadrático de referencia de 25 cm, sustituyéndolo en la ecuación anterior, originó un total de 915 árboles por hectárea para la especie en cuestión.

$$N = 142341.70 * (25)^{-1.567806}$$

$$N = 915.45 = 915$$

Así, para determinar el área basal de un diámetro cuadrático promedio la ecuación resultante fue:

$$G = (142341.70 * d_c^{-1.567806}) * (0.7854)(d_c^2) / 10000$$

$$G = (142341.70 * d_c^{-1.567806}) * (0.0007854 * d_c^2)$$

En cuadro 6 se presentan los valores para número de árboles y área basal para diferentes categorías diamétricas, y en el cuadro 7 se compara el número de árboles por hectárea en función del diámetro obtenido como densidad máxima promedio para *Pinus hartwegii* (Vargas, 1999), en el Cerro Potosí y los valores correspondientes para *Pinus pseudostrabus* para el presente trabajo, ambos estudios se han realizado en el municipio de Galeana Nuevo León.

Cuadro 6: Número de árboles y área basal para los diferentes diámetros cuadráticos de *Pinus pseudostrabus* Lindl.

D Cuadrático (cm)	Número de Árboles/ha	Area Basal (m²ha⁻¹)
5	11415.18	22.41
10	3850.58	30.24
15	2039.15	36.03
20	1298.88	40.81
25	915.45	44.94
30	687.85	48.62
35	540.17	51.97
40	438.14	55.06
45	364.26	57.93
50	308.80	60.63
55	265.94	63.18
60	232.03	65.60
65	204.66	67.91
70	182.21	70.12
75	163.53	72.25
80	147.79	74.29

Cuadro 7: Número de árboles por hectárea para *Pinus hartwegii* y *P. pseudostrobus*.

Diámetro (cm)	<i>P. hartwegii</i> Vargas (1999)	<i>P. pseudostrobus</i> Este Trabajo
5	10724.60	11415.18
10	3536.70	3850.58
15	1848.30	2039.15
20	1166.30	1298.88
25	816.10	915.45
30	609.50	687.85
35	476.30	540.17
40	384.60	438.14
45	318.60	364.26
50	269.10	308.80
55	231.00	265.94
60	201.00	232.03
65	176.80	204.66
70	157.10	182.21
75	140.6	163.53
80	126.8	147.79

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

En los valores presentados en este cuadro se observa que comparando el número de árboles/ha del trabajo reportado anteriormente, contra los de la presente investigación, *Pinus pseudostrobus* presenta un mayor número de árboles en la totalidad de las categorías diamétricas. La diferencia porcentual es un poco más marcada en las categorías diamétricas mayores (14 % a un diámetro de 80 cm) y menor en diámetros inferiores (7 % para la categoría de 5 cm), lo que denota diferencia de pendiente en las curvas de referencia de densidad en ambas especies.

El diagrama de densidad de rodales de Reineke construido se presenta en la figura 6. Las líneas corresponden a valores de densidad de 100 a 1000 árboles para un diámetro cuadrático promedio de 25 cm, a intervalos de 100 individuos. Se ilustra también la línea de referencia de densidad máxima promedio obtenida mediante procedimientos de regresión (IDRR = 915).

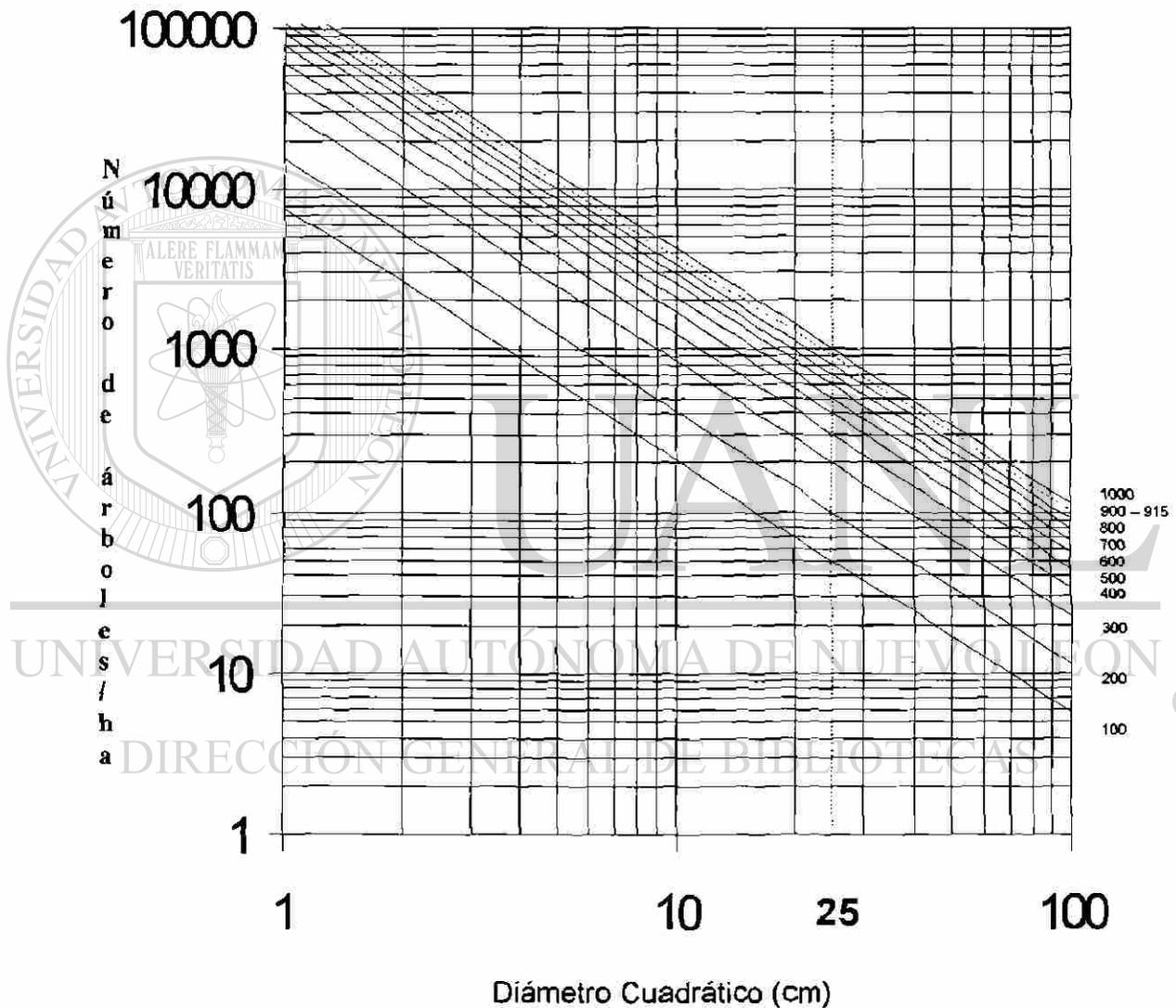


Figura 6: Diagrama de índice de densidad de rodales de Reineke (IDRR)

4.3.2 Factor de Competencia de Copas

El modelo aplicado para conocer la relación existente entre el diámetro normal y el diámetro de copa presentó los siguientes coeficientes de regresión:

$$DC = 0.77505430 + 0.1757995 * d$$

Los resultados del análisis de regresión para el modelo anterior se presentan en el cuadro 8.

Cuadro 8: Análisis de regresión para la relación diámetro de copa-diámetro normal.

Parámetros	Valor estimado	Error estándar	Valor de T	Nivel de prob.
Intercepta	0.77505430	0.144362	5.368840	0.0001
Pendiente	0.1757995	0.004110	42.73323	0.0001

Así el área de copa expresada en m² está dada por:

$$AC = (0.7854) * (0.77515430 + 0.1757995 * d)^2$$

El cálculo de AMC (área máxima de copa) se obtuvo:

$$AMC = 0.007854 * (DC)^2$$

Sustituyendo en la anterior:

$$AMC = 0.007854 * (0.77505430 + 0.1757995 * d)^2$$

$$AMC = 0.007854 * (0.600709167 + 0.272508316 * d + 0.030905464 * d^2)$$

$$AMC = 0.004717979 + 0.00214028031 * d + 0.000242731514$$

De esta manera el área máxima de copa, se expresa en porcentaje con relación a una hectárea, o el área máxima de terreno que puede ocupar un árbol, en la proyección de su copa en el suelo.

Una vez obtenido lo anterior se obtuvo el número de árboles por hectárea y el área basal a partir de las siguientes funciones:

$$N = 10000 / AC$$

$$G = (N) * \left(\frac{d}{100}\right)^2 * 0.7854$$

donde:

N = número de árboles por hectárea

AC = área de copa (m^2)

G = área basal total ($m^2 ha^{-1}$)

En el cuadro 9 se presentan los valores para área máxima de copa, número de árboles por hectárea y área basal, en función del diámetro medio.

Cuadro 9: Área máxima de copa (AMC), número de árboles por hectárea (N) y área basal (G).

Diámetro medio (cm)	Área máxima de copa (m ²)	Número de árboles/ha	Área basal (m ²)
5	2.15	4654	9.14
10	5.04	1984	15.59
15	9.14	1094	19.33
20	14.46	691	21.72
25	20.99	476	23.38
30	28.74	348	24.60
35	37.70	265	25.52
40	47.87	209	26.25
45	59.26	169	26.84
50	71.86	139	27.33
55	85.67	117	27.73
60	100.70	99	28.08
65	116.94	86	28.38
70	134.39	74	28.64
75	153.06	65	28.86
80	172.94	58	29.06

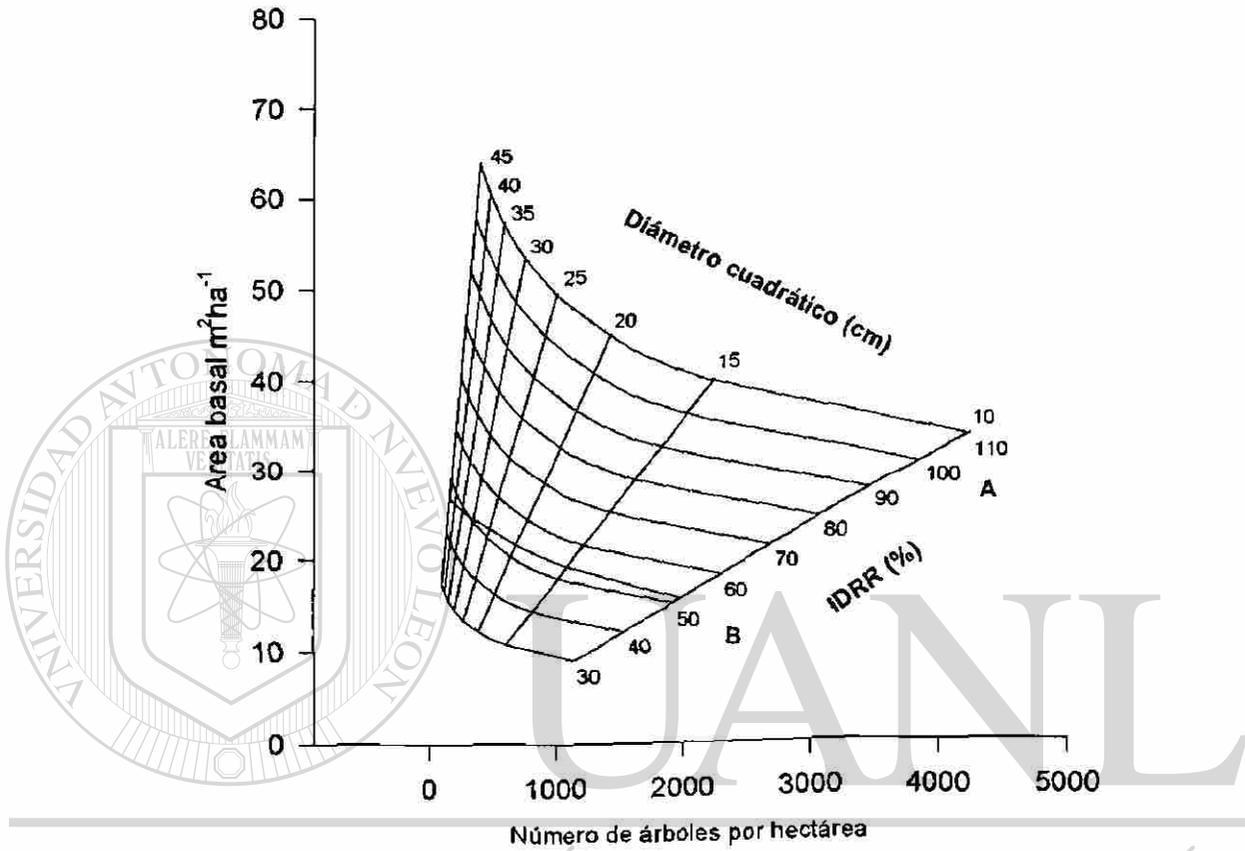
4.3.3 Construcción de la Guía de Densidad

Para la construcción de guía de densidad se utilizaron los valores de número de árboles y área basal de el índice de rodales de Reineke y del factor de competencias de copas, (cuadros 6 y 9).

De acuerdo con los valores obtenidos en la guía de densidad, los rodales objeto de estudio para los sitios de 500 m² se ubican en el rango de 55 a 72 % de IDRR. Los rodales 1 y 5 presentan valores de 71.16 y 71.60 %, respectivamente con valores en área basal de 32 y 36 m²ha⁻¹.

El rodal 2 con área basal de 31.61 m²ha⁻¹ se encuentra en un nivel de ocupación de 67.70 %. Por último se tiene a los rodales 3 y 4, los cuales presentan una densidad más cercana a él limite de suficiencia con niveles de ocupación de 55.21 y 55.34 %, con áreas básicas de 26.32 y 27.17 m²ha⁻¹, respectivamente.

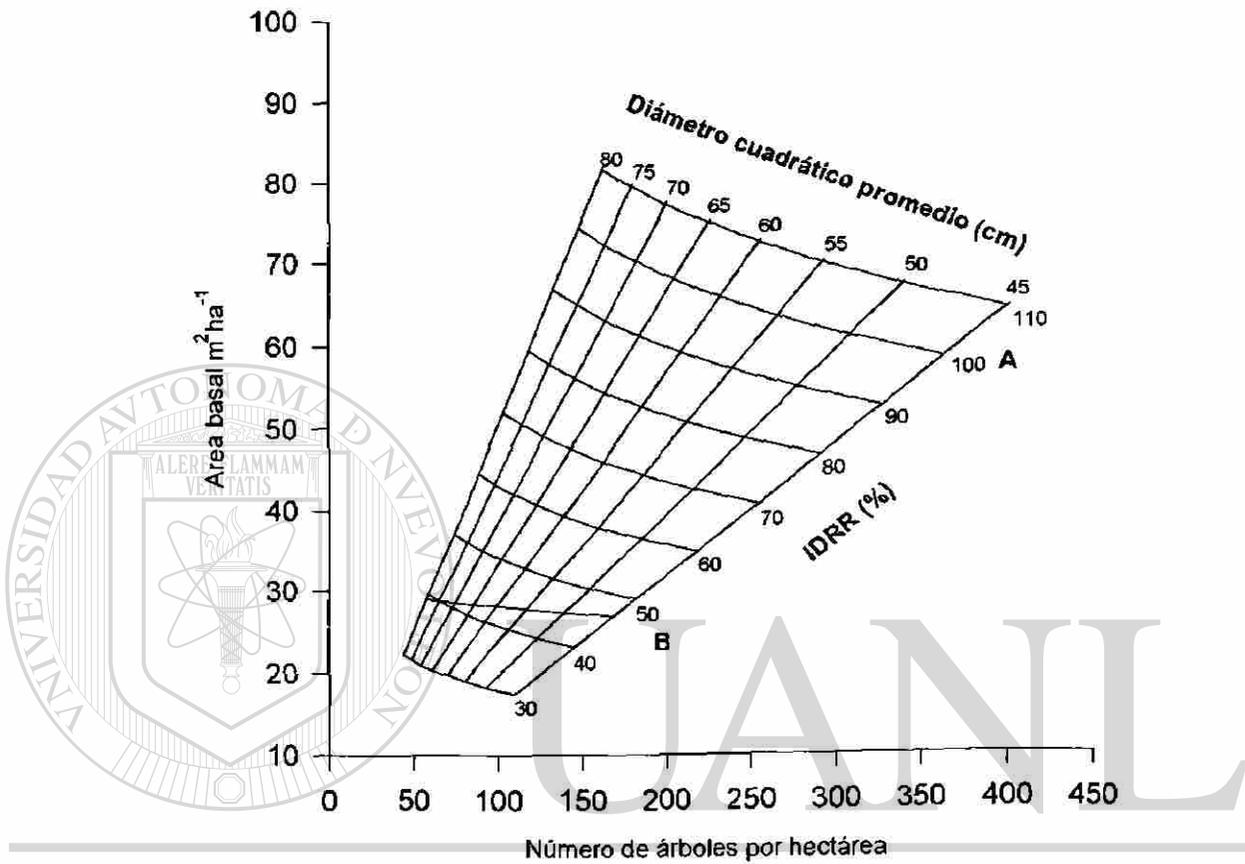
Para efectos más prácticos de ilustración la guía se elaboró en dos partes, la primera con rangos de diámetro cuadrático promedio de 10 a 45 cm, y la segunda de 45 a 80 cm, (figuras 7 y 8).



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

Figura 7: Guía de densidad para *Pinus pseudostrobus* Lindl. en el sur de Nuevo León para diámetros cuadráticos medios de 10 a 45 cm.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS
 Figura 8: Guía de densidad para *Pinus pseudostrobus* Lindl. en el sur de Nuevo León para diámetros cuadráticos medios de 45 a 80 cm.

4.4 Estructura Espacial (horizontal)

4.4.1 Índice de Distancia D_i

En el cuadro 10 se muestran los valores promedio del índice de distancia aplicado a los 5 rodales. Los valores de las distancias promedio entre árboles (espaciamiento) es de 2.05 m a 2.79 m, correspondiendo a la clase entre 2 y 3 m de distancia entre árboles.

Cuadro 10: Valores de índices, área basal y número de árboles por ha.

Rodales	Índice de Dist. D_i (m)	Índice R de Clark & Evans	Índice. Angulos W_i	Area Basal	Densidad (N_a ha ⁻¹)
1	2.43	0.86	0.54	32.01	496
2	2.53	0.79	0.59	31.61	540
3	2.70	0.74	0.66	26.32	356
4	2.05	0.66	0.68	27.17	551
5	2.79	0.84	0.58	36.23	426

En la figura 9 se presenta la distribución de las clases de distancia entre árboles para los 5 rodales. Para el rodal 1 ocurren todas las clases de distancia, destacando las clases de 2 y 3 m con un 68 % de proporción de árboles presentes en el rodal, mientras que las clases 5, 6, 7, 8, 9 y 10 apenas cubren un 8 %. En el rodal 2 se presentan las categorías 1-7, destacando las clases 2 y 3 con un 36 % y 23 % respectivamente, del total de árboles en el rodal. Para el tercer rodal la tendencia es similar a los dos anteriores concentrándose la mayor proporción en las clases 2, 3 y 4 con 29 %, 35 % y 18 % respectivamente, el resto de las clases se presentan en muy bajo porcentaje sumando apenas un 16.8 % en 5 clases, observando que no se presentan las clases 9 y 10.

En el rodal 4 sobresale la clase 2 con una frecuencia de 41 % de los casos, y con 29 % la clase 3, sumando las clases 1 y 4 un 25 % de árboles con distancia de 1 a 4 m, presentándose las clases 5, 6 y 8 pero con proporciones apenas apreciables (3.90 %).

Finalmente el rodal 5 presenta las clases 1, 2 y 3 una proporción total de 63 % con diferencias en distancias de 1 a 3 metros, en este caso la clase de 5 m con 16 % el mayor valor en los rodales investigados.

Cabe mencionar que este índice por sí solo no describe la estructura horizontal de las poblaciones, sin embargo proporciona información importante que puede auxiliar en el manejo de los ecosistemas forestales. Con la información de este índice se puede definir qué tratamiento silvícola aplicar en los rodales, así como visualizar el grado de aglomeración de individuos y realizar estimaciones de la densidad del área. y Además, conociendo dicha distancia y el crecimiento que tiene las especies se puede definir el momento adecuado para realizar algunas intervenciones (aclareos), antes de que se comience a presentar la mortandad de individuos por competencia.

Otra aplicación podría ser de acuerdo a los objetivos de manejo propuestos donde, si pretende el desarrollo o la conservación de algunas especies de fauna asociada a estas condiciones y de acuerdo a los requerimientos de hábitat de estas especies, puede decidirse el tipo de manejo que se podrá efectuar en el área.

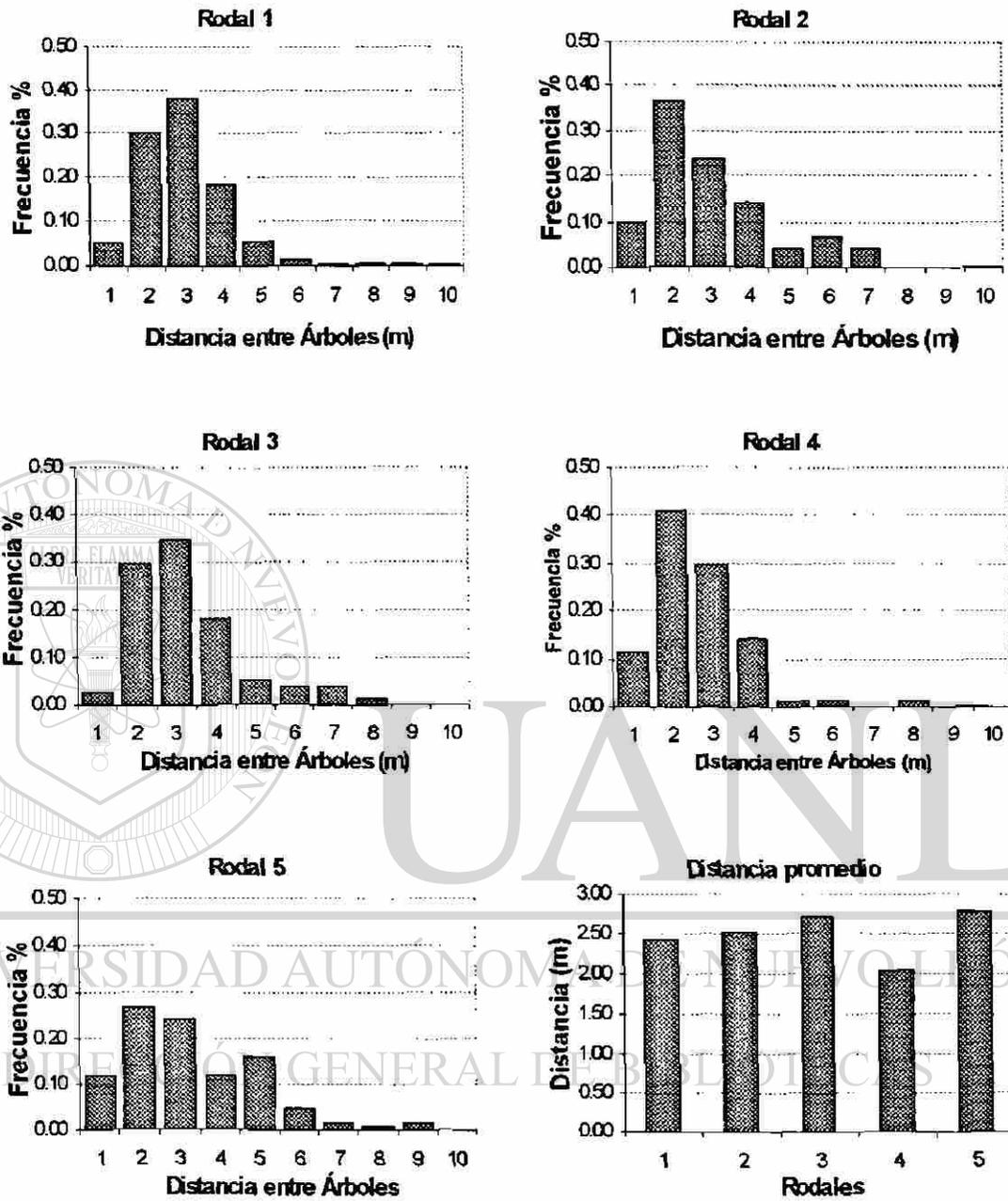


Figura 9: Distribución y comparación del índice de distancia D_i para 5 rodales de *P. pseudostrobus* de la Sierra Madre Oriental del sur de N. L. México.

4.4.2 Índice de Agregación R de Clark & Evans

Los valores promedio del índice R de Clark & Evans para los 5 rodales investigados se muestran en la figura 10 y cuadro 10. Los rodales 1 y 5 son los que presentaron mayores valores (cercanos a 0.9), lo que denotaría una tendencia a la distribución aleatoria; para el resto de los rodales, los valores promedio de R menores tendiendo a la conformación de grupos.

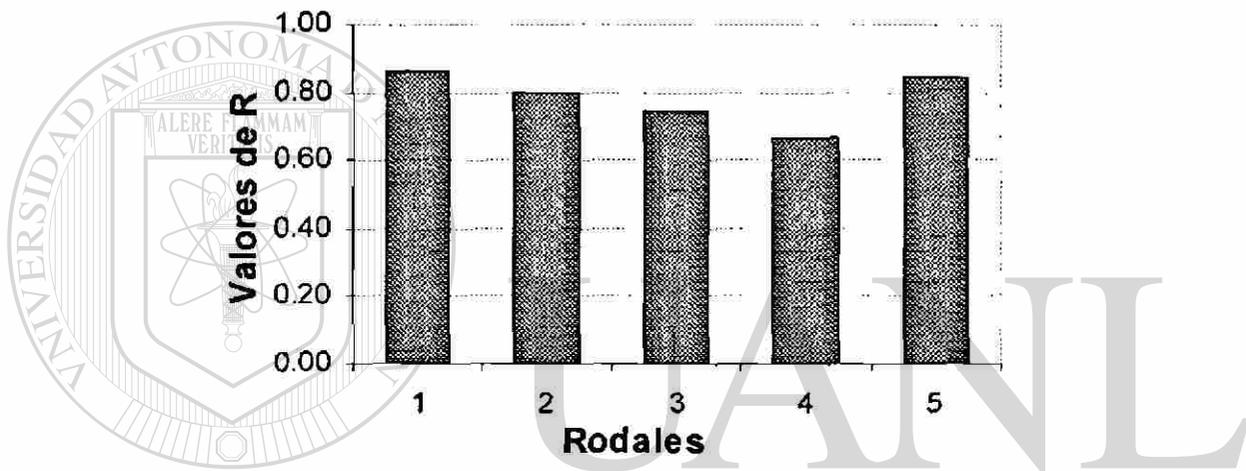


Figura 10: Índice de agregación R de Clark & Evans promedio por rodal

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

Cabe mencionar que estos valores representan el promedio por rodal, sin embargo, algunos sitios de muestreo presentaron una distribución con tendencia a la regularidad, denotada por los valores de R obtenidos superiores a 1 (Gleichmar y Gerold, 1998).

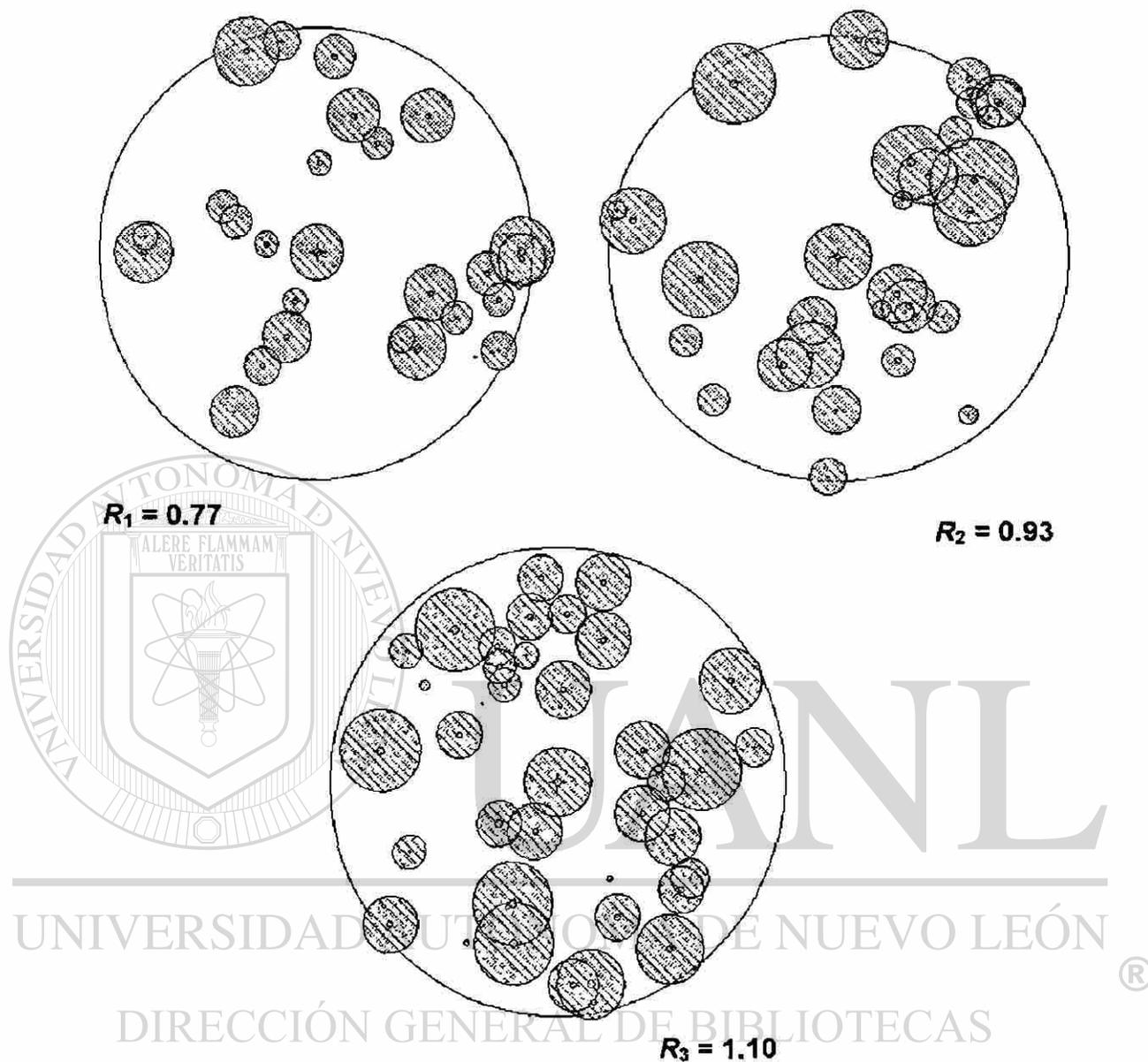


Figura 11: Índice de agregación R para 3 sitios con diferente estructura.

En la figura 11 se muestra como ejemplo sitios de muestreo con diferente valor de índice de agregación R de Clark & Evans donde se observa que para R_1 existe una tendencia a la conformación de grupos, R_2 presenta condiciones de aleatoriedad, y R_3 tendencia a la regularidad.

4.4.3 Índice de Angulos W_i

Los resultados obtenidos en la aplicación del índice de ángulos W_i para los 5 rodales se presentan en la figura 12. Los valores obtenidos para el rodal 1 muestra que 75 % de los sitios de cinco árboles presentan condiciones de aleatoriedad y el 19 % condiciones próximas a la conformación de grupos. En lo que respecta al rodal 2, un 64 % de los sitios presenta condiciones de aleatoriedad y el resto tendencia a conformar grupos.

Para el rodal 3, el 28 % de los sitios presenta valores de $W_i = 1.0$ lo que representa condiciones de conformación de grupos, el resto se distribuye aleatoriamente. En lo que respecta al rodal 4, el 53 % de los árboles se localizan con valores de $W_i = 0.5$ que lo caracterizan como una distribución aleatoria, el resto (47 %), presenta tendencias a la conformación de grupos. Por último en el rodal 5 la tendencia es similar al rodal anterior con un 68% de árboles distribuidos aleatoriamente y un 27 con tendencias a formar grupos, únicamente un 5 % presenta tendencia a la regularidad.

El comportamiento para los valores promedio de \bar{W}_i por rodal es similar al índice de agregación R , los valores menores se presentaron en los rodales 1, 2 y 5, con valores de $\bar{W}_i = 0.54, 0.59$ y 0.58 respectivamente lo que denota una tendencia de los árboles a conformar una distribución aleatoria promedio, para el resto de los rodales se aprecian valores de \bar{W}_i superiores lo que denota una tendencia incipiente a la conformación de grupos.

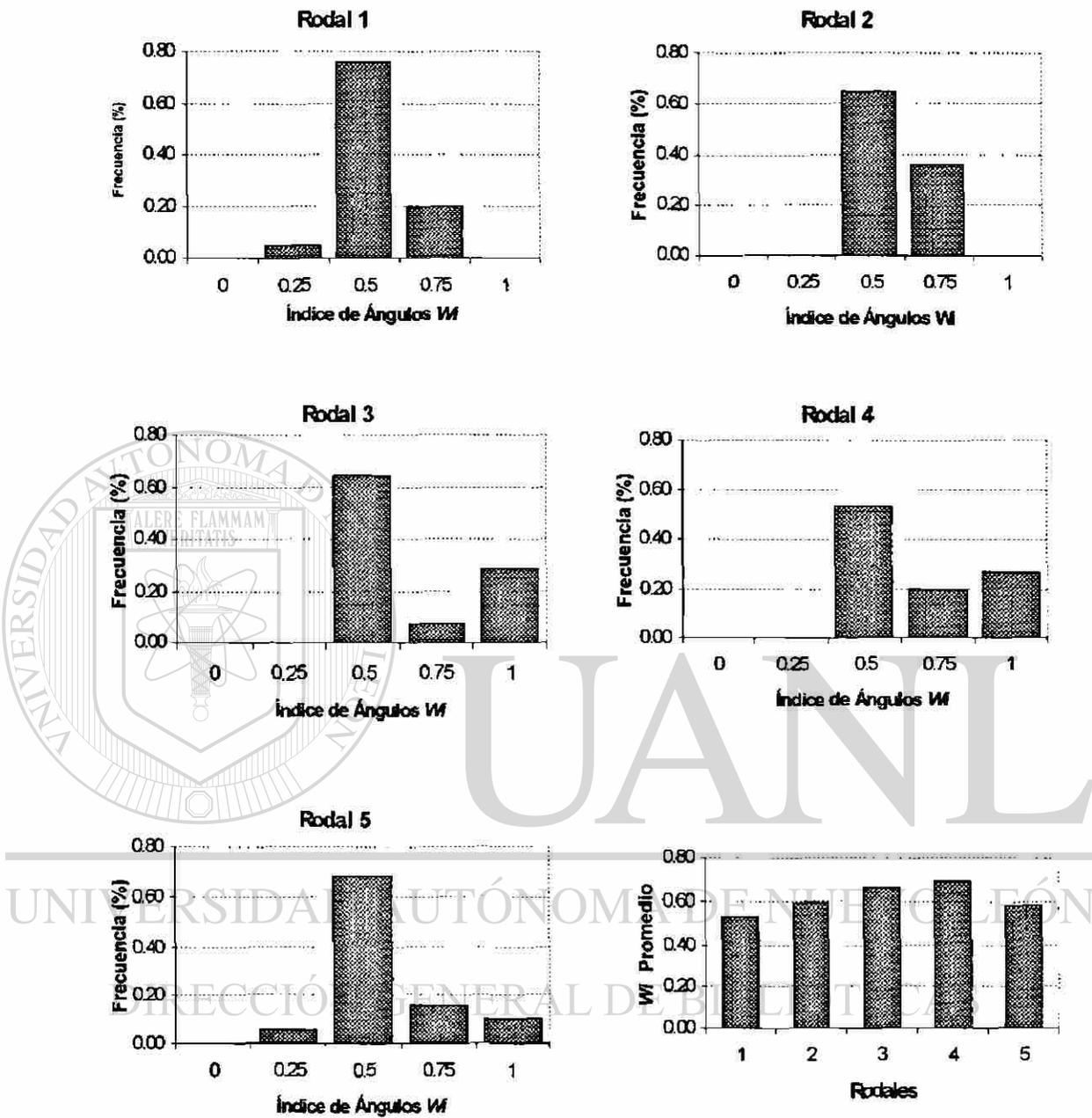


Figura 12: Distribución y comparación del índice de ángulos W_i para 5 rodales de *P. pseudostrobus* de la Sierra Madre Oriental del sur de N.L. México.

4.5 Estructura Dimensional

Los resultados de los procedimientos aplicados para la caracterización cuantitativa de la estructura dimensional de los rodales investigados se presentan en los siguientes incisos:

4.5.1 Estructura Diamétrica

El rodal 1, muestra la distribución de las categorías diamétricas observándose árboles de 10 a 55 cm (figura 13). Encontrándose un mayor número de individuos en las categorías de 20, 25, 30 y 35 cm. El diámetro promedio del rodal es igual a 27.10 cm con una desviación estándar de 9.47 cm, pocos son los árboles que se localizan por encima y por debajo de esta media y su desviación estándar, presentando aparentemente una tendencia a la regularidad de la masa; de tal manera que la línea hacia la derecha se comienza a alargar ligeramente, mientras que la de la izquierda se acorta por la muerte natural de algunos individuos más débiles o por la realización de raleos por lo bajo (Prodan *et al.*, 1998).

También se observa la distribución de probabilidad Weibull ajustada para las categorías diamétricas, de acuerdo a la prueba de X^2 , con valores de 10.98 para las frecuencias observadas contra un valor de X^2 tabulado de 27.58 y 33.4 para niveles de significancia de 0.05 y 0.01, respectivamente. Se observa que se acepta la hipótesis nula, es decir las frecuencias observadas se modelan adecuadamente por la distribución Weibull.

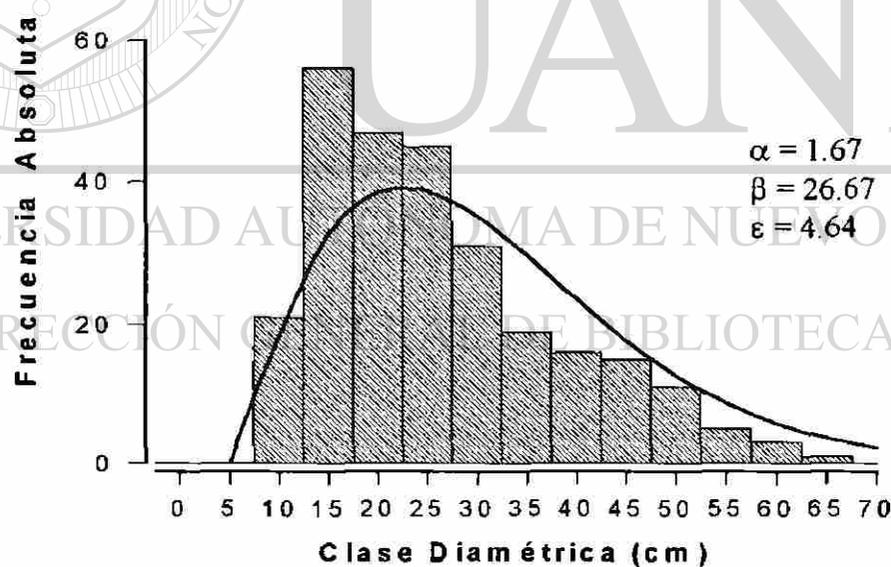
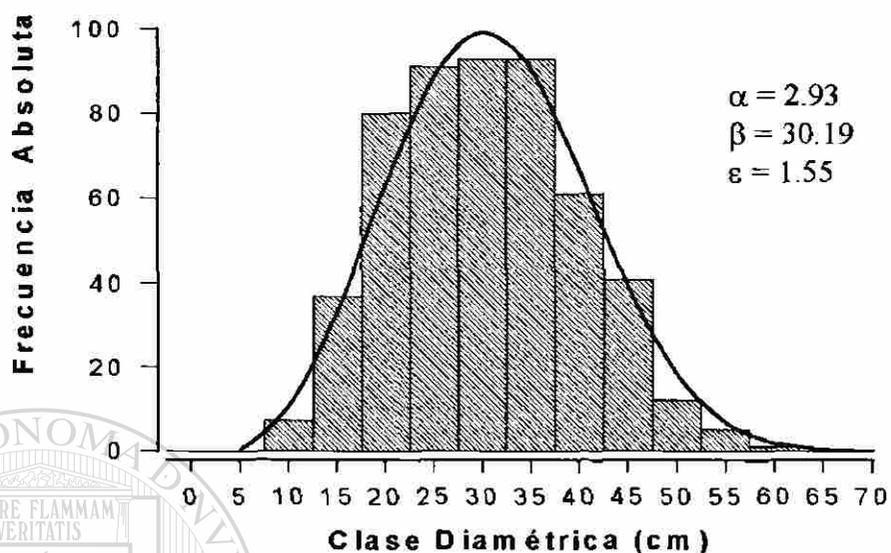


Figura 13: Histograma de frecuencias diamétricas y ajuste de la distribución de probabilidad Weibull (rodales 1 y 2).

La estructura diamétrica del rodal 2 es más irregular que la estructura diamétrica del rodal 1 (figura 13). En la cual se observan mayormente árboles jóvenes o renuevos de diámetros pequeños, los cuales pueden estar en el área ya sea por que ocuparon el espacio de un árbol viejo o, bajo condiciones de ordenación en claros creados por la tala (Daniel *et al.*, 1982). El mayor número de fustes se localiza en las primeras categorías diamétricas (10, 15 y 20). Este número decrece más o menos regularmente a medida que aumentan en tamaño, de manera que al final queda apenas un pequeño grupo de árboles de mayor diámetro.

El promedio diamétrico y su desviación estándar fueron 24.32 y 12.08 cm, respectivamente. Las probabilidades asociadas con esta estructura varían por su forma sesgada y por consecuente el número de árboles varía con respecto a estos parámetros estadísticos en contraste con la estructura del rodal 1. La función de probabilidad Weibull presenta un ajuste mas o menos aceptable con un valor de X^2 de 32.35 contra un valor tabulado de X^2 de 33.40 para un nivel de significancia de 0.01.

Lo que respecta al rodal 3 (figura 14) se presentan las distribuciones por categoría diamétricas en el cual se observa que la mayor proporción de individuos que se localizan en las categorías de 20, 25 y 30 cm de diámetro normal, donde el diámetro medio es de 28.66 y su desviación estándar de 11.45 cm.

La curva de distribución cambia de forma con la edad dependiendo de la especie y el raleo. La competencia de los individuos lleva a segmentarse en "clases sociales" (predominantes, dominantes, codominantes, intermedios y suprimidos). De lo cual normalmente resulta un dosel dominante y otro dominado, en este caso la distribución puede ser bimodal. El ajuste que presenta la distribución de probabilidad Weibull es eceptable dado que al probar su bondad de ajuste mediante la prueba de X^2 este valor resultante es

sensiblemente menor al encontrado en las tablas, con un valor de X^2 observado de 14.77 contra el valor tabulado de X^2 27.58 y 33.4 para niveles de significancia de 0.05 y 0.01 respectivamente.

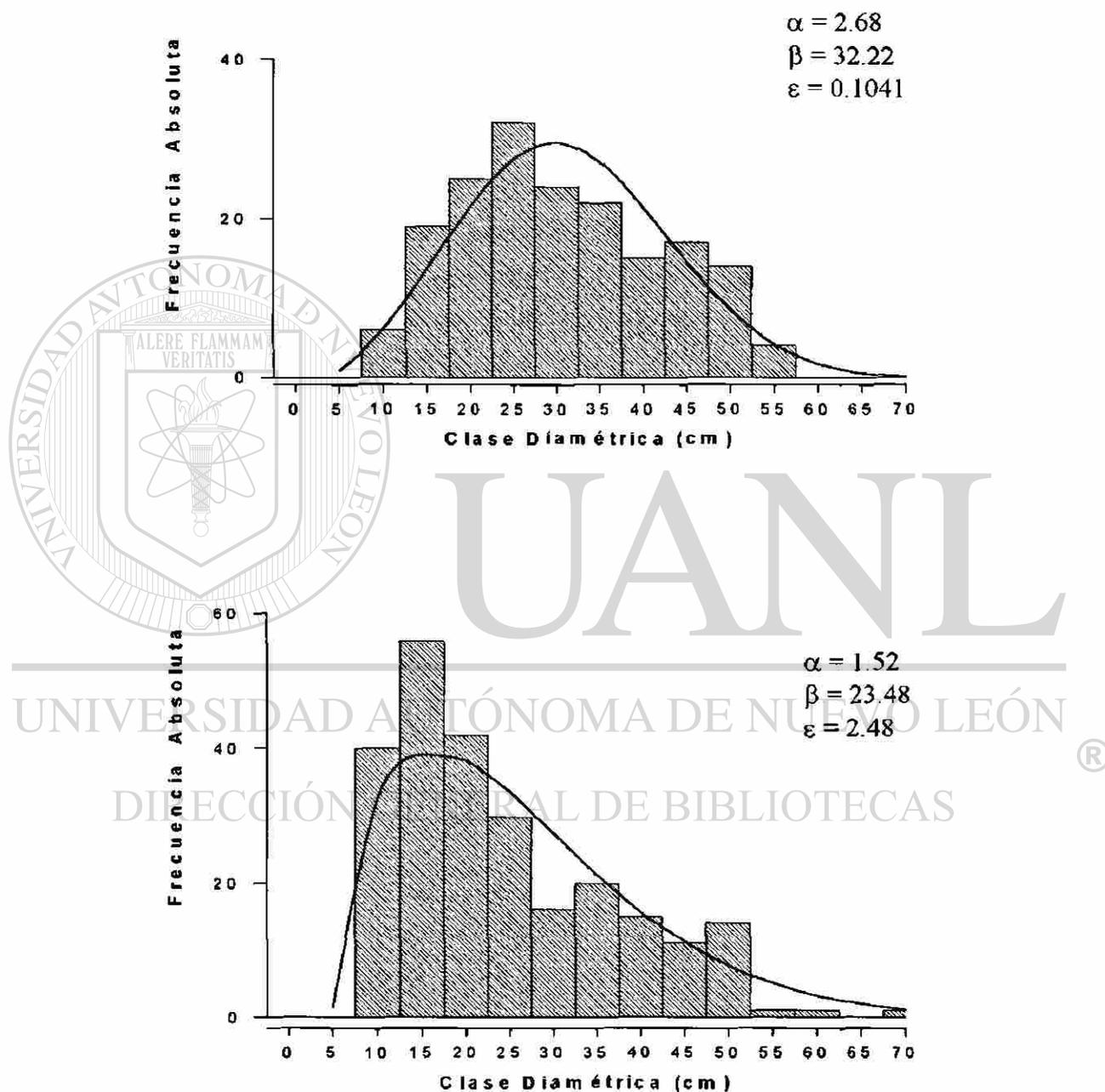


Figura 14: Histograma de frecuencias diamétricas y ajuste de la distribución de probabilidad Weibull (rodales 3 y 4).

El comportamiento que presentan los árboles del rodal 4 es similar a los presentados para el rodal 2 donde en categorías menores tenemos una mayor cantidad de individuos con poco volumen y en las categorías posteriores un menor número de árboles que nos representan la mayor proporción de volumen, el rango de variación diamétrica que presenta esta distribución va desde los 10 a los 70 cm, con un promedio diamétrico y una desviación estándar de 21.41 y 12.69 cm, respectivamente.

La forma de distribución más extrema es la distribución diamétrica decreciente, en un bosque multicohortal se pueden ver estrechamente mezclados árboles de todas edades (Prodan *et al.*, 1998). La cantidad de individuos disminuye conforme se va incrementando en diámetro (Meyer, 1933; Prodan 1994). Para las categorías diamétricas de este rodal el ajuste de la distribución de probabilidad Weibull es aceptable dado que al realizar la prueba de X^2 contra un nivel de significancia de 0.01, el valor de X^2 observado es sensiblemente mas bajo que el valor de X^2 esperado, con valores de 29.35 y 33.4 respectivamente.

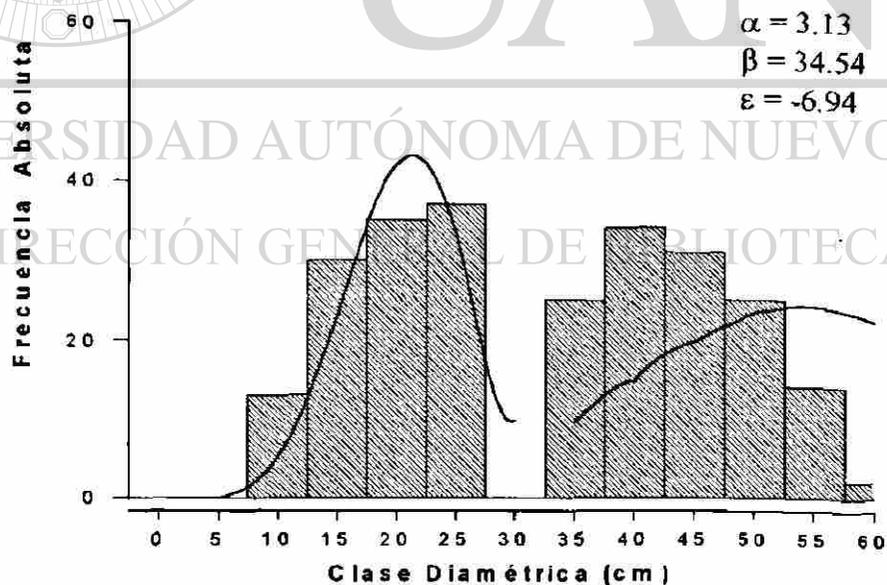


Figura 15: Histograma de frecuencias diamétricas y ajuste de la distribución de probabilidad Weibull (Rodal 5).

La estructura diamétrica de arbolado del rodal 5 (figura 15), muestra una composición de categorías diamétrica de 10 a los 60 cm, con un diámetro medio de 32.89 cm y una desviación estándar 12.98 cm. Se observa una distribución irregular bimodal (dos cúspides), donde se presentan grupos de individuos para algunas categorías diamétricas, encontrándose individuos de diámetros mayores (40 y 60 cm), en los cuales se concentra la mayor parte de volumen.

De acuerdo con Daniel *et al.*, (1982), los rodales irregulares se forman en aquellos sitios en que los árboles o grupos de ellos se talan o mueren de forma natural dentro de rodales de edad uniforme.

Para este rodal la función de distribución Weibull no se ajustó satisfactoriamente, ya que este presenta dos pisos fácilmente diferenciables (bimodal), para lo cual se procedió a ajustar dicha distribución para cada piso, resultando un ajuste aceptable para el primero, con valor de X^2 observada de 14.37 contra un valor de X^2 tabulado de 27.58 y 33.4 para niveles de significancia de 0.05 y 0.01 respectivamente. Para el segundo piso dicho ajuste no se presenta debido a la alta diferencia de las frecuencias presentadas entre categorías diamétricas (50-60 cm), dado que el valor que se presenta para X^2 esperada es de 87.73 contra un valor de 33.4 a nivel de probabilidad de 0.01; Como lo menciona Návar *et al.*, (1996), la desventaja de esta función es que no predice adecuadamente la variable diámetro de bosques de diferentes pisos, por que su forma es unimodal.

4.5.2 Coeficiente de Homogeneidad (H)

En la figura 16 se presenta los valores del coeficiente de homogeneidad (H) promedio para volumen y área basal así como las curvas de Lorenz obtenidas para los rodales objeto de estudio, observándose en la primera variable una mayor homogeneidad para los rodales 1 y 3, los cuales presentan valores de $H = 5.30$ y 4.11 , respectivamente. Las curvas de Lorenz respectivas se encuentran más cercanas a la recta de referencia que el resto de los rodales que presentan mayor heterogeneidad.

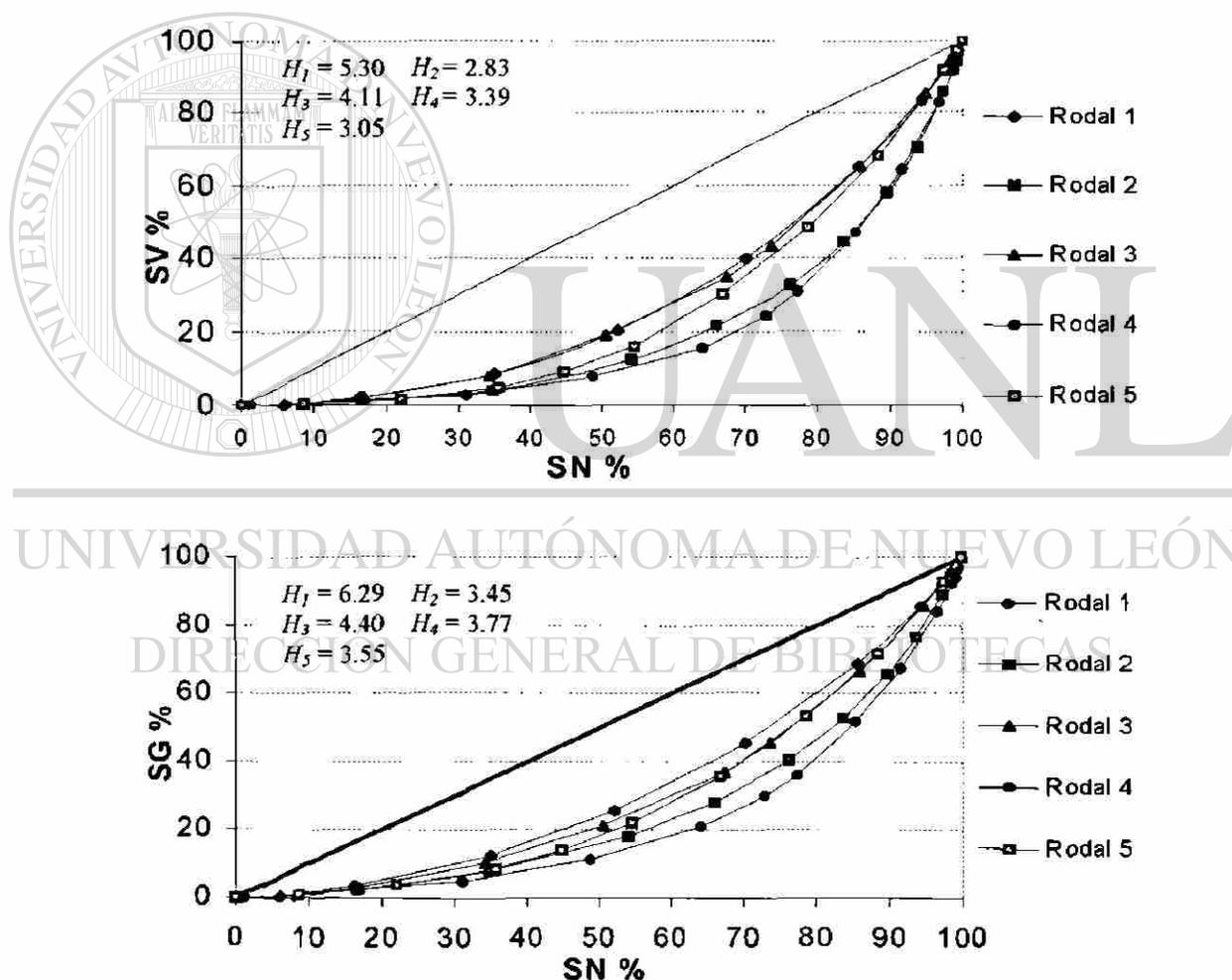


Figura 16: Coeficientes de homogeneidad (H) para volumen y área basal

El comportamiento que presenta el coeficiente de homogeneidad para área basal es muy similar a obtenido para volumen donde los rodales 1 y 3 son los que presentan mayores valores de H . Lo anterior permite derivar que con la sola estimación del área basal se puede obtener sin dificultad este índice, ya que esta variable es de fácil obtención en campo sin la necesidad de efectuar demasiados cálculos.

Los rodales con menor coeficiente de homogeneidad (2 y 4) son aquellos que presentan una mayor frecuencia de individuos en las categorías diamétricas menores, esto es, un gran número de árboles con poco volumen y área basal, respectivamente (compare capítulo 4.5.1., figuras 13 y 14).

4.5.3 Índice de Diferenciación Diamétrica TD

Los valores promedio de \overline{TD} para cada rodal se muestran en el cuadro 11. Para el rodal 1 se tiene que en promedio los individuos de este rodal se presentan en la totalidad de las clases de diferenciación diamétrica encontrándose la mayor proporción en las clases 1 y 2 con 41 %, con diferencias de 10 a 20 % en diámetro entre árboles vecinos, destacando las clases 4 y 5 con 30 % de árboles con diferencias en diámetro de 40 y 50 %, se localizan también árboles con diferencias diamétricas grandes pero en muy baja proporción (clases 8 y 9 con 2 y 1 % respectivamente).

Cuadro 11: Índice de diferenciación diamétrica (TD) por rodal

Clases	Rodal 1	Rodal 2	Rodal 3	Rodal 4	Rodal 5
	Frecuencia (%)				
0.0 – 0.1	23	15	10	9	20
0.1 – 0.2	18	14	16	15	20
0.2 – 0.3	14	20	19	15	32
0.3 – 0.4	15	12	22	14	6
0.4 – 0.5	15	15	9	12	14
0.5 – 0.6	7	13	7	11	02
0.6 – 0.7	5	8	10	11	04
0.7 – 0.8	2	2	7	9	1
0.8 – 0.9	1	1	0	3	0

En los valores de él rodal 2 destaca la clase 3 con frecuencia de 20 % de individuos con diferencias en diámetro de 20 %, presentando un promedio de $\overline{TD} = 0.34$.

Para el rodal 3, las clases 3 y 4 reportan los valores más altos sumando el 41 % de árboles con diferencia en diámetro de 30 y 40 %, para las clases 5-8 se concentra el 39 % de individuos con diferencias en diámetros de 50 a 80%, este rodal presenta un $\overline{TD} = 0.35$.

Los datos reportados para el rodal 4 que es más heterogéneo presenta todas las clases (1-9), con valores de 3 hasta 15 %. Por último se tiene el rodal 5 el cual presenta un $\overline{TD} = 0.25$ que lo reporta como el rodal más homogéneo junto con el rodal 1.

En la figura 16 se presentan los valores para los 5 grupos de diferenciación diamétrica considerados. Para el primer rodal se encuentran predominando grupos de diferenciación escasa, moderada y media con 41.48, 28.98 y 22.16 %, respectivamente. Los grupos de alta y muy alta diferenciación ocurren en

proporción de 7 %; esta última apenas apreciable con 0.57 %, de diferencias entre árboles vecinos con referencia al diámetro. En lo que se respecta al rodal 2 se tiene la presencia de todos los grupos, donde el comportamiento es muy similar al rodal anterior; en los tres primeros grupos se concentra aproximadamente el 88 % del total y el resto en los 2 grupos restantes, con 10.47 y 1.16 %, respectivamente.

Para el rodal 3 se presentan 4 grupos, el 67 % de los individuos se concentra en la diferenciación diamétrica de baja y moderada y el resto en los grupos de media y alta, esta última con 17.24 %.

El rodal 4 presenta las mayores diferencias diamétricas entre árboles vecinos con una frecuencia de 46 %, en los grupos de media, alta y muy alta, el resto en los grupos de baja y moderada diferenciación.

Por último se presenta los valores para el rodal 5 donde se aprecia la ausencia de el grupo 5. El resto de los valores se presentan en una frecuencia decreciente, esto es conforme incrementa la diferenciación diamétrica entre árboles vecinos, disminuyen tales frecuencias.

En la figura 17 se presenta también el \overline{TD} promedio por rodal, donde se constata que los rodales 3 y 4 son los que presentan mayores diferencias en diámetro respecto de sus vecinos, y los rodales 1 y 5 muestran los menores lo que permite inferir que son homogéneos (compare capítulos 4.5.1. y 4.5.2).

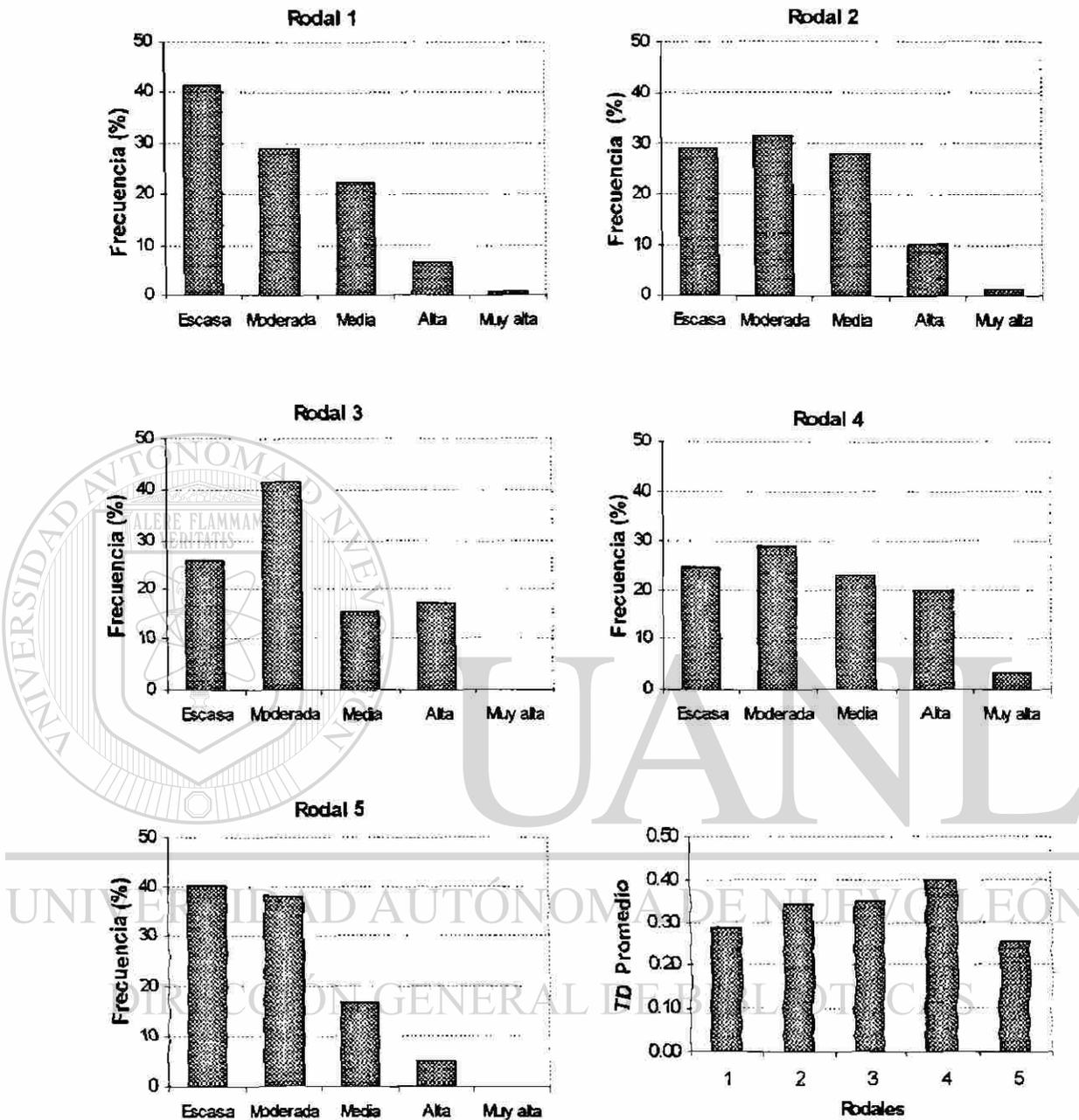


Figura 17: Distribución y comparación del índice de diferenciación diamétrica *TD* para 5 rodales de *P. pseudostrobus* de la Sierra Madre Oriental del sur de N.L. México.

Adicionalmente, se comparan los valores de los parámetros de Alfa (c) y Beta (β), que corresponden a los parámetros de forma y escala, respectivamente de la función de distribución Weibull, contra los promedios del índice de diferenciación diamétrica TD (ver capítulo anterior) para los 5 rodales.

Primeramente se comparan los valores de él parámetro alfa α y el índice de diferenciación diamétrica TD , donde se observa que la relación que se presenta es inversamente, ya que a mayor índice de diferenciación diamétrica, menor valor para alfa (c). Este comportamiento que se observa es también similar para los valores del parámetro beta (β), donde a menor valor de beta (β), mayor índice de diferenciación diamétrica (cuadro 12 y figura 18).

Esto indica que a medida que las estructuras diamétricas son más regulares y con una mayor varianza tienen o poseen índices de diferenciación más bajos. Por otra parte cuando los rodales son más irregulares, tendiendo a la curva de Licourt los valores de diferenciación diamétrica incrementan notoriamente.

Cuadro 12: Valores de los parámetros alfa y beta de la distribución Weibull e índice de diferenciación diamétrica (TD).

Rodal	Alfa α	Beta β	TD
1	2.9343	30.1954	0.2880
2	1.6738	26.6701	0.3408
3	2.6881	32.2233	0.3495
4	1.5208	23.4839	0.3999
5	3.1333	34.5440	0.2536

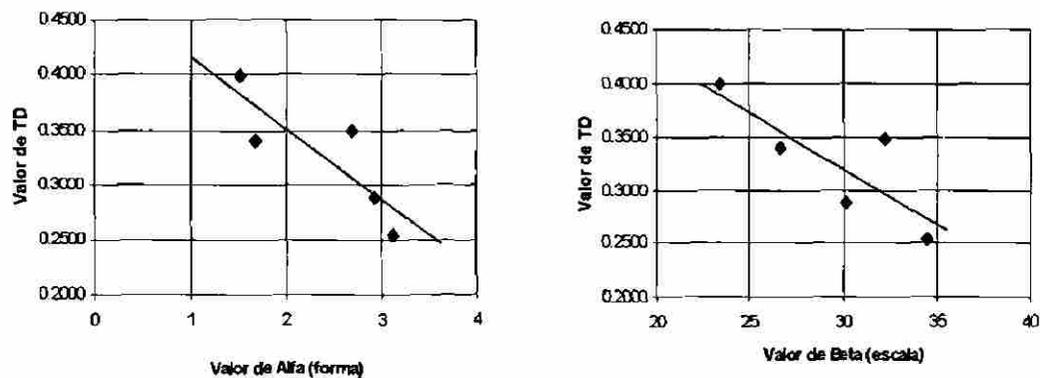


Figura 18: Comportamiento de los valores de Alfa y Beta contra valores de *TD*.

4.5.4 Índice de Diferenciación en Altura *TH*

El análisis de las relaciones de las alturas entre árboles vecinos permite derivar una medida cuantitativa de la estructura vertical de los ecosistemas forestales más objetiva que la sola mención de criterios como “estructura escasa” o “estructura moderada” (Vargas, 1999). Mediante el uso de la altura de los arboles de referencia y de sus vecinos más próximos se utilizan para calcular los valores de diferenciación en altura, lo cual permite obtener una medida cuantitativa de la estructura vertical de los ecosistemas forestales.

Similarmente como se procedió en la estimación del índice de diferenciación diamétrica (*TD*), se obtuvo el índice de diferenciación en altura (*TH*), en diez clases y en 5 grupos de diferenciación observándose para esta variable que las mayores frecuencias se localizan principalmente en las primeras clases, lo que se explica por el temperamento de la especie ya que pueden presentarse rodales con altas diferencias en diámetro pero con alturas poco diferenciadas (cuadro 13).

Cuadro 13: Índices de diferenciación en alturas (\overline{TH}) por rodal

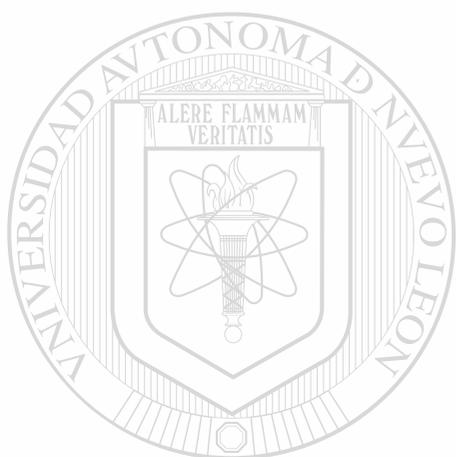
Clases	Rodal 1	Rodal 2	Rodal 3	Rodal 4	Rodal 5
	Frecuencia (%)				
0.0 – 0.1	34	31	29	28	44
0.1 – 0.2	24	13	38	17	27
0.2 – 0.3	11	13	14	20	10
0.3 – 0.4	14	12	9	15	7
0.4 – 0.5	7	17	9	9	2
0.5 – 0.6	7	1	2	9	7
0.6 – 0.7	1	8	0	2	1
0.7 – 0.8	0	5	0	0	1
0.8 – 0.9	1	0	0	0	0

Para el primer rodal se observa que en las clases 1 y 2 se presenta una alta proporción de árboles (58 %) con una mínima diferencia en altura (entre 10 y 20 %), el resto se concentra en las clases 3 a 6 con 39 %, y con una muy escasa proporción aparecen las clases 7 y 9.

En caso del rodal 2 la clase 1 tiene una proporción de 31 %, posteriormente aparecen las clases 2, 3 y 4 con 38 % y destaca en segundo grado la clase 5 con una frecuencia de 17 % con diferencias en alturas de 50 %, este rodal es el más heterogéneo en cuanto a alturas se refiere con un $\overline{TH} = 0.28$. Para el rodal 3 se vuelven a concentrar en las clases iniciales 1 y 2 con una proporción de 67 % con diferencias mínimas en alturas entre 10 y 20 %, observándose las ausencias de las clases 7, 8, 9 y 10.

Para el rodal 4 destaca la clase 1 con 28 %, posteriormente las clases 2, 3, y 4 con 52 % con diferencias de 20 a 40 %; este rodal es el segundo más heterogéneo con un $\overline{TH} = 0.24$. Por último el rodal 5 es el rodal más homogéneo teniendo un $\overline{TH} = 0.16$ destacando la clase 1 con 44 % de árboles, seguida de las clases 2 y 3 con un 37 %, con diferencias en alturas de 20 y 30 %, el resto (19 %) se concentra en las clases 4 – 8.

En la figura 19 se presentan el gráfico para los 5 grupos de diferenciación en alturas, similarmente como se procedió a estimar los valores para la diferenciación en diámetro. Para todos los rodales la diferenciación en alturas es visiblemente menor que en diámetros, concentrándose las mayores proporciones de árboles en los grupos de escasa y moderada diferenciación con porcentajes menores en todos los casos en los grupos de diferenciación media y alta, el grupo de muy alta diferenciación solamente se presenta en el rodal 1 con una proporción de 1.14 y con ausencias para el resto de los rodales.



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS



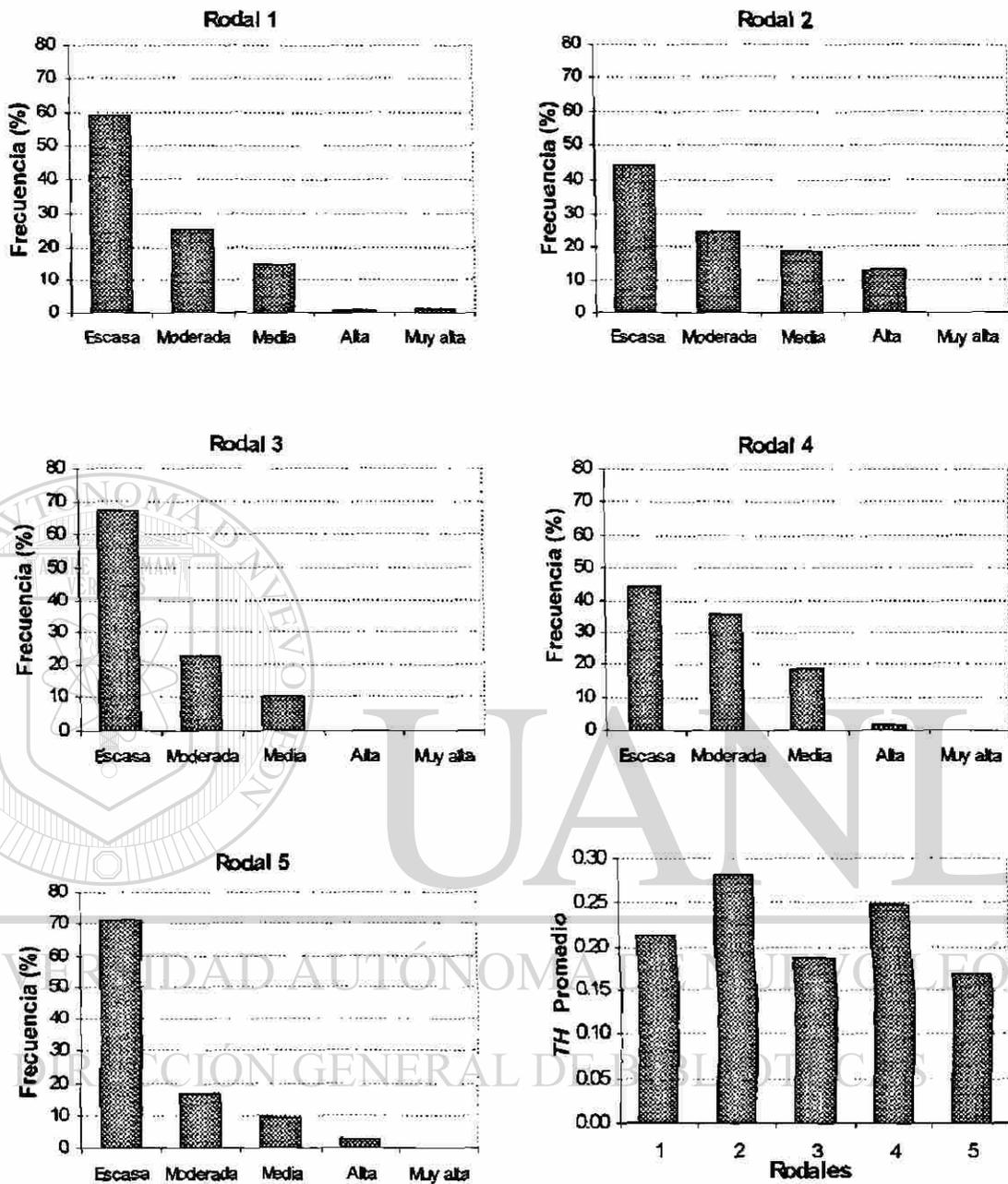


Figura 19: Distribución y comparación del índice de diferenciación en altura TH para 5 rodales de *P. pseudostrobus* de la Sierra Madre Oriental del sur de N.L. México.

5. CONCLUSIONES

La descripción de los rodales objeto de estudio mediante el método de índice de sitio, permitió identificar una condición de productividad media (IS 16) en cuatro de las cinco áreas consideradas. Los atributos dasométricos de los rodales, sin embargo, difieren en mayor medida debido a los tratamientos silvícolas aplicados en etapas anteriores.

La construcción del diagrama y guía de densidad permitió caracterizar cuantitativamente el grado de ocupación de los rodales estudiados, lo que constituye una herramienta básica para la toma de decisiones sobre la aplicación de distintos tratamientos silvícola de acuerdo a los objetivos de manejo establecidos.

Las guías de densidad pueden emplearse además en áreas adyacentes con el objeto de calificar la condición de deficiencia, suficiencia y exceso de densidad de los rodales y prescribir las estrategias de manejo.

Con los referente a la estructura espacial, el índice de distancia D_i permitió caracterizar la distribución de los árboles de manera general, observándose distancias promedio entre los mismos de 2.05 a 2.79 m, lo cual es de gran utilidad al momento de definir los tratamientos silvícolas a aplicar.

El índice de agregación R de Clark & Evans permitió describir la distribución de los individuos en los rodales investigados a partir de relaciones de entre árboles de referencia y sus vecinos más próximos en general, la distribución promedio de los árboles correspondió a la tendencia a conformar grupos para 3 de los 5 rodales, y el resto a la distribución aleatoria.

El índice de ángulos W_i permitió caracterizar con mayor detalle el patrón de distribución de los árboles en el terreno, mediante el establecimiento de grupos estructurales de cinco árboles y su asignación de acuerdo a la distribución aleatoria, regular o conformando grupos. Los valores promedio correspondieron a los del índice de agregación R .

La aplicación de la función de distribución Weibull permitió caracterizar la estructura diamétrica de los rodales. Las funciones obtenidas en cada caso constituyen la base para el monitoreo y la proyección de la estructura dimensional de las masas a través del tiempo.

El empleo del coeficiente de homogeneidad H permitió caracterizar la condición respectiva en cada rodal y realizar comparaciones entre ellos. Los resultados obtenidos empleando volumen y área basal fueron equivalentes, por lo que pueden usarse indistintamente. El área basal tiene sin embargo la ventaja de que puede obtenerse más rápidamente en campo.

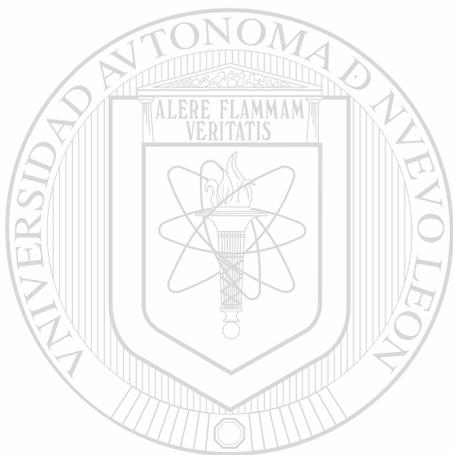
Los índices de diferenciación dimensional empleados posibilitaron una caracterización estructural más completa de los rodales mediante la ubicación de los árboles en clases y grupos de diferenciación diamétrica y en altura. En general, se observó que los valores a las de diferenciación en alturas en todos los rodales

La aplicación de los diversos métodos cuantitativos para la caracterización silvícola y estructural de los ecosistemas forestales permite representar su condición en un momento dado, evaluar los efectos de influencias antropogénicas o procesos de sucesión natural, y proyectar escenarios futuros.

La aplicación de los índices estructurales deberá considerarse adicionalmente a las variables tradicionalmente empleadas, (d , h , g , vol , $edad$), a fin de lograr una mejor descripción y reproducción de los rodales forestales, establecer un

monitoreo en tiempo y espacio sobre la condición de los mismos, así como el desarrollo de indicadores de la sustentabilidad del manejo de los recursos forestales.

Los índices descritos constituyen una alternativa de fácil aplicación para la evaluación y monitoreo de la estructura de los ecosistemas forestales sobre bases cuantitativas.



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS



6. LITERATURA CITADA

Aguirre, C. O. A. 1984: Estimación de índices de sitio para *pinus pseudostrabus* Lindl., en la región de Iturbide, Nuevo León. Tesis profesional. U.A.CH., Chapingo, México. 64 p.

Aguirre, C. O. A. 1991: Elaboración de tablas de producción en base a sitios temporales de muestreo. Un ejemplo con *pinus pseudostrabus* Lindl. En el Noreste de México. Reporte científico No.24 Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma de Nuevo León. Linares, N. L. 44 p.

Aguirre, C. O. A. 1997: Manejo Forestal I (mcf-700). Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma de Nuevo León. Linares, N. L. 59 p.

Aguirre, O.; Kramer, H.; Jiménez, J. 1998: Análisis de la estructura de ecosistemas forestales. Un caso de estudio en Durango. México. Memoria del Primer Congreso Latinoamericano IUFRO, Valdivia, Chile, 11p.

Aguirre, O. 1999: Índices para la caracterización de la estructura del estrato arbóreo de ecosistemas forestales. Revista Ciencia Forestal.

Alvarez, G. J.; y Ruiz G. A. 1998: Análisis y modelización de las distribuciones diamétricas de *pinus pinaster* Ait. en Galicia. Investigación Agraria, Sistema de Recursos Forestales Vol 7. Madrid España. Pp 123-137.

Arteaga, M., B. 1989: Evaluación de la productividad de sitios forestales. División de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma de Chapingo. 75 p.

- Barnes, G. H. 1962: Yield of even aged stand of Western Hemlock. U. S. D. A. Technical Bulletin No. 1273 53 p.
- Becerra, L. F. 1985: Los Índices de Densidad. Simposio Sobre Silvicultura y Manejo de Bosques en México. 25 p.
- Chacon, S. J.; Cano R. M. 1998: Estructuras arboreas de la región de San Juanito-Creel y su comportamiento. Folleto Científico No. 8. INIFAP. Campo Experimental Madera. Chihuahua.
- Clark, P. J.; Evans, F. C. 1954: Distance to nearest neighbor as a measure of spatial relationship in populations. *Cology* 35 (4): 445-453.
- Clutter, J.L.; Forton, J. C.; Pienaar, L. V.; Brister, G. H. and Bayley, R. L. 1983: Timber Management: a cuatitative approach. John wiley & Sons. SD 393. T55.
- Condes, S.; Martínez-Millan J. 1998: Comparación entre los índices de distribución espacial de árboles mas usados en el ambito forestal. Investigación Agraria. Sistemas de Recursos Forestales. Madrid España. Pp 173-187.
- Curtis, R. O. 1970: Stand density measures. An interpretation. *For. Sci.* 16 403-414.
- Daniel, T.W.; Helms, J. A.; Baker, F. S. 1982: Principios de Silvicultura. Primera edición en español. De. McGraw-Hill. México, 490 p.
- Davis, K. P. y Johson K. N. 1987: Forest management. 3rd. De. McGraw-Hill. New York. 519 p.

-
- De Camino, R. 1976: Zur Bestimmung der Bestandeshomogenität. Allgemeine Forst Und Jagdzeitung 147 (2/3): 54-58.
- Farjon, A.; Styles B. T. 1997: Pinus(Pinaceae), Flora Neotropica Monograph 75. The New York Botanical Garden 291 p.p.
- Favela, L. S. 1991: Taxonomia de *Pinus pseudostrobus* Lindl., *Pinus montezumae* Lamb. *Pinus hartwegii* Lindl. Reporte científico No. 26 Facultad de Ciencias Forestales U.A.N.L. pp 30.
- Gadow, K.V.; Hui, G.; Albert, M. 1998: Das Winkelmaß- ein Strukturparameter zur Beschreibung der Individualverteilung in Waldbeständen. Centralblatt für das Gesamte Forstwesen. En prensa.
- Gadow, K V., Hui, G , 1998: Modellig Forest Development. Faculty of Sciences and Woodland Ecology, Göttingen, Germany.
- INEGI, 1984: Nomenclatura de Nuevo León, INEGI
-
- Jiménez, P. J. 1992: Dinámica del crecimiento de especies arbóreas en un rodal Mixto Incoetaneo mediante la metodología de análisis troncal. Reporte Científico No. 31. Facultad de Ciencias Forestales, UANL. 43 p.
- Jiménez, P. J. 1990: Aplicación de un modelo matemático para elaborar tablas y tarifas de volumen un ejemplo con *Pinus pseudostrobus*. Reporte Científico No. 16 Facultad de Ciencias Forestales. UANL. 48 P.
- Krajicek, J. S.; K. A. Y Gingrich, S. F. 1961: Crow Competition- A measure of density. For Sci. 7 35-42.
- Magurran, Anne E. 1988: Ecological diversity and its measurement. Princeton University Press. New Jersey. 179 p.

Monroy, R. C. R. 1997: Evaluación de crecimiento y productividad de *pinus patula* Schl. Et Cham., en la región de Huayacocotla, Veracruz, México. Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias Forestales. UANL. Linares Nuevo León. 92. P.

Nagel, J. 1994: Structural analysis of forest reserve Saubrink on the basis a permanent sample plot data. Mixed Stands, Research Plots. Measurements and Results. Models. Proceedings from the Symposium of the IUFRO Working Groups S4.01-03 S4.01-04 in Lousa/Coimbra. Portugal. pp: 81-96.

Návar, J.; Jiménez J.; Dominguez P.; Aguirre O.; Galvan M.; Paez A. 1996: Predicción del crecimiento de masas irregulares en base a las distribuciones diamétricas en el sureste de Sinaloa, México. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación; Investigación Agraria Sistemas y Recursos Forestales Vol. 5 (2).

Návar, J. J.; Contreras A. J. 2000: Ajuste de la distribución Weibull a las estructuras diamétricas de rodales irregulares de pino en Durango, México.

Agrociencia 34 2000.

Návar, J. y Corral, S. 2000: Estimating predicting and recovering Wueibull distribution parameters of mixed and unevenaged stands of Durango, México. International Conference on Forest Ecosystem Restoration 10-12 april 2000 Viena Austria.

Oliver, C.D. y Larson B.C. 1990: Forest Stand Dynamics. McGraw-Hill, New York. 467 p.

Perry, J. P. 1991: The Pines of Mexico and Central America. Timber Press, Portland, Oregon 231 p.p.

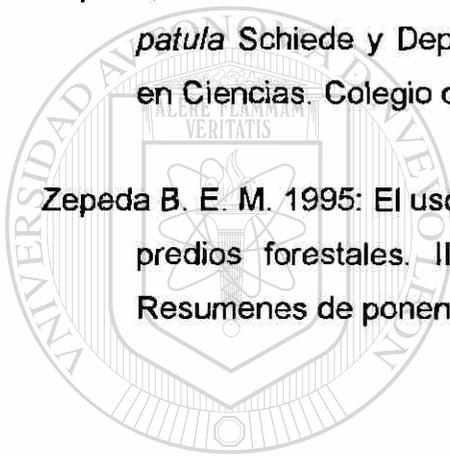
- Pielou, C. 1961: Segregation and symmetry in two-species populations as studied by nearest neighbour. *Journal of ecology* 49: 255-269.
- Pielou, C. 1975: *Ecological diversity*. John Wiley, New York.
- Pinto da Costa, E. 1990: Biometrical description of stands structure. Biometrical investigation of mixed stands structure in Portugal. Cooperation Project SERRA da LOUSA-LISBON/MUNIQUE. Instituto Superior de Agronomia Tapada da Ajuda, 1399 Lisboa Codex, Portugal
- Pommerening, A.; Gadow, V.; Lewandowski, A. 1997: A new approach to describing forest structures. *For. Ecol. and Management*.
- Rivero, B. P.; Zepeda B. M. 1990: Principios Basicos de Regulación Forestal Serie de apoyo academico No. 42 Universidad Autónoma de Chapingo División Ciencias Forestales 262 p.
- Romahn, de la V.; Ramirez M. H.; Treviño G. J. 1987: Dendrometría Serie de apoyo academico No.26. División de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma de Chapingo.
- Spurr, S. H.; Barnes B. V. 1982; *Ecología Forestal*. Trad. C. I. Raigorodsky Agt Editor. México 690. P.
- UCODEFO, No. 1 "Galeana": 1995 Programa de Manejo Forestal del Ejido Alfonso Corona del Rosal, municipio de Galeana, N.L.
- Vega, G. M. G. 1995: Elaboración de una guía de densidad para *Pinus pseudostrobus* Lindl. Facultad de ciencias Forestales. Universidad Autónoma de Nuevo León. 45 p.

Vargas, L. B. 1999: Caracterización de la productividad y estructura de *Pinus hartwegii* Lindl. En tres gradientes altitudinales en el cerro potosí, Galeana, Nuevo León. Tesis de Maestría en Ciencias. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma de Nuevo León 93 p.

Zepeda, B. E. M. 1984: Ejemplificación de tres procedimientos para caracterizar rodales por su densidad. Serie de apoyo académico No. 34 División de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma de Chapingo. México. 57 p.

Zepeda, B. E. M. 1990: Predictor de rendimientos mederables probables de *Pinus patula* Schiede y Deppe., de Perote Veracruz. México. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados Montecillo México. 331 p.

Zepeda B. E. M. 1995: El uso de las guías de densidad en la auditoración técnica de predios forestales. II Congreso Mexicano Sobre Recursos Forestales. Resúmenes de ponencias. Montecillo, México. P 20-20ª.

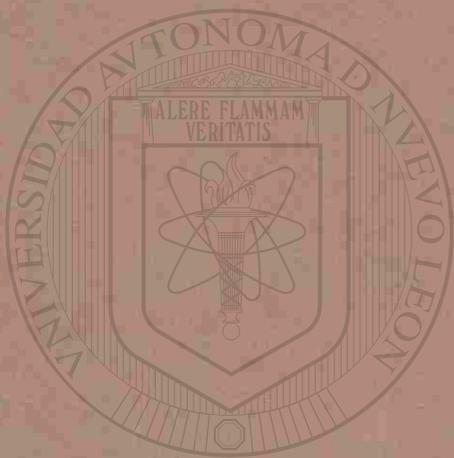


UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS





UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

®