CIENCIA FORESTAL en México

ISSN 0185-2418

REV. CIEN. FOR. EN MÉX. VOL. 20 NÚM. 77 228 P. MÉXICO, D.F. ENE-JUN 1995

INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES FORESTALES Y AGROPECUARIAS
DIVISION FORESTAL

La Revista **Ciencia Forestal en México**, es el órgano divulgativo del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias, de la Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural, que tiene como finalidad difundir resultados parciales o finales de las investigaciones forestales realizadas por su personal científico, existiendo la posibilidad de publicar artículos de investigadores externos, nacionales o extranjeros.

Certificado de Licitud de Contenido Núm. 677
Certificado de Licitud de Título Núm. 1151
Número de la Serie Estandar Internacional (ISSN): 0185-2418

CIENCIA FORESTAL en México

VOL. 20 ENE-JUN 1995 NUM. 77

CONTENIDO

ESTUDIO SINECOLÓGICO DEL BOSQUE DE OYAMEL DE LA CAÑADA DE CONTRERAS, DISTRITO FEDERAL

Nieto de Pascual Pola Cecilia*

RESUMEN

Se realizó un levantamiento fitoecológico en el bosque de oyamel (*Abies religiosa* [HBK] Schl. & Cham.) en la Cañada de Contreras, Delegación Magdalena Contreras, al suroeste del Distrito Federal. Los objetivos se orientaron a caracterizar la composición florística, forestal y edáfica de la comunidad con el fin de fundamentar evaluaciones posteriores. Se utilizaron técnicas tradicionales tanto de recolecta, como de análisis.

Los resultados indican una comunidad con la diversidad florística propia del oyametal, con predominio de compuestas, compartiendo especies para los bosques de la Sierra del Ajusco; una distribución altitudinal limitada de los 2,930 a los 3,400 msnm, con preferencia a pendientes superiores al 30%, donde las masas lucen más vigorosas; distribución espacial irregular, sobre suelos profundos y ricos en materia orgánica de textura franco-arenosa, con rocosidad media del 18%. Existen pocos árboles de gran altura (35 m) y hay un predominio de alturas medias y de coberturas reducidas. No se encontraron oyameles en los estratos inferiores, y los daños más comunes son la defoliación y el desrame.

Palabras clave: Oyamel. *Abies religiosa*, Sinecología, daños por ozono, Distrito Federal.

* Bióloga, M.C., Investigador Titular, CENID-COMEF, INIFAP, SAGDR.

ABSTRACT

A phytoecological survey was made in the fir (*Abies religiosa* [HBK] Schl. & Cham.) forest in Cañada de Contreras, in Magdalena-Contreras borough, located at the Southwest of Distrito Federal, Mexico. The purpose of this study was bound to describe the floristic composition, as well as the forest conformation and soil condition of this community in order to support further research works. Traditional field and analysis techniques were used.

Results show a community with a floristic diversity as expected, with dominance of Compositae, with species common to these forests in Sierra del Ajusco. Altitude distribution from 2,930 to 3,400 m, with a clear preference to cliffs over 30 per cent where the trees look more vigorous; irregular spacial distribution, over deep soils with rich organic matter, of sandy-loam texture, and 18% rocks average. There are few very large trees (35 m height) and a clear predominance of medium heights. No young trees were found in the lower strata. The most common injury observed was defoliation and lack of lower branches.

Key words: Fir, *Abies religiosa*, Synecology, ozone injuries, Distrito Federal.

INTRODUCCIÓN

El bosque de oyamel o abetos u oyamental (*Abies religiosa* [HBK] Schl. & Cham.) es una comunidad climax de la vegetación de coníferas, que domina las partes altas de los montes que rodean el Valle de México, y cuya conservación es determinante para la calidad de vida del área metropolitana de la Ciudad de México.

El oyamel o abeto es la única especie del género *Abies* que vegeta en la zona (Martínez, 1953)[1] , de la que se tiene conocimiento ha estado presente en el territorio desde tiempos pre-hispánicos (Sahagún, 1955 *in* Moncayo Ruíz, 1981)[2]. Sin embargo, la trabajabilidad de su madera propició su aprovechamiento sistemático, lo que contribuyó al deterioro del habitat y, consecuentemente, a la reducción de sus poblaciones.

[1]Martínez, M. 1953. "Las pináceas mexicanas", pp. 98-109.
[2]Moncayo R., F. 1981. "Relación de algunas cosas de los montes de México -un ensayo histórico del asunto forestal", pp. 33.

Actualmente la preservación de los bosques se ve amenazada por un agente abiótico exógeno a los ecosistemas forestales: la contaminación atmosférica. Representa un factor de daño principal que ejerce un impacto determinante en las masas arbóreas, independientemente de su especie, desarrollo o edad, y en particular las de la Cuenca de México manifiestan ya síntomas inequívocos de dicho mal (Bauer *and* Krupa, 1990)[3].

El oyamel del Distrito Federal se localiza sobre la cadena montañosa al suroeste, y sus bosques más densos se ubican en la Sierra del Ajusco, en el Parque Desierto de los Leones y en la Sierra de las Cruces. Se caracteriza por un ambiente sombrío y húmedo que le permite desarrollar individuos cuya altura puede aún rebazar los 35 m, y una proliferación de individuos de menor altura en una tendencia diamétrica descendente también, donde la regeneración es natural.

Sin embargo en ecosistemas perturbados, la distribución regular y gradual de diámetros y alturas puede verse interrumpida, y paralelamente, la regeneración natural también.

Un estudio sinecológico permite conocer en qué estado se encuentra el ecosistema en un momento dado, en relación a sus principales componentes. Por lo tanto, aporta conocimiento básico para investigaciones posteriores.

El bosque de oyamel de la cañada de Contreras ha sido poco estudiado, aun cuando forma parte del macizo forestal del Parque Nacional Cumbres del Ajusco. Por altitud y localización, el oyamel es dominante, y su aspecto es más saludable que en en el Parque Desierto de los Leones y en la Sierra del Ajusco, donde su deterioro ha sido ampliamente estudiado (Bauer *et al.*, 1985[4]; Nieto, 1986[5]).

Como una primera aproximación para conocer cómo está la comunidad de oyamel de la Cañada de Contreras con mayor veracidad, se planteó el desarrollo del proyecto actual con los siguientes **objetivos**:

1. Obtener un perfil florístico de la comunidad de oyamel .
2. Evaluar el estado de desarrollo y de salud del arbolado de oyamel.
3. Caracterizar el estrato edáfico de la comunidad de oyamel.

[3]Bauer, L.I. *and* Krupa, S.V. 1990. "The Valley of Mexico: summary of observational studies on its air quality and effects on vegetation". 65:109-118.

[4]Bauer, L.I. de, Hernández T., T. *and* Manning, W.J. 1985. "Ozone causes needle injury and tree decline in *Pinus hartwegii* at high altitudes in the mountains around Mexico City". 35 (8): 838.

[5]Nieto de Pascual P., C. 1986. "Síntomas de deterioro del arbolado en la Sierra del Ajusco". pp. 25-44.

Se trabajó exclusivamente en bosque de oyamel, aun cuando se reconoce la presencia de especies de pino (*Pinus montezumae* Lamb.), madroño (*Arbutus xalapensis*), encinos (*Quercus* spp.) y diversas latifoliadas a lo largo de su distribución altitudinal.

ANTECEDENTES

Los estudios sinecológicos se han realizado tradicionalmente como descripciones básicas de las comunidades forestales porque permiten diagnosticar el estado actual del ecosistema, su composición estructural, diversidad, estado de desarrollo, la condición de salud o enfermedad general de sus componentes principales y la riqueza del ecosistema.

En bosques del norte de México, Chacón y Sánchez (1986)[6] realizaron un estudio interesante de orden fitoecológico en Madera, Chihuahua, considerando la relación entre el suelo y la vegetación.

De los más cercanos al estudio actual, pueden mencionarse las contribuciones de Anaya (1962)[7] que obtuvo información de tipo sinecológico para describir el declive occidental del Iztaccíhuatl.

Madrigal (1967)[8] con un alcance mucho mayor, describió los bosques de oyamel del Valle de México tanto en su composición florística como estructural, lo que permite tener una referencia sustancial para muchos de los aspectos que aquí se abordan.

Obieta y Sarukhán (1981)[9] trabajaron con objetivos semejantes en un pinar de *Pinus hartwegii* Lindl. con especial énfasis en aspectos fitoestructurales.

En 1987 se realizó un estudio fitoestructural que aportó algunas características ecológicas y forestales de las diversas asociaciones vegetales de Sierra del Ajusco, con

[6]Chacón S., J.M., y Sánchez C., J. 1986. "Dinámica de establecimiento de la regeneración de *Pinus arizonica* Engelm". pp. 15-42.

[7]Anaya L., A.L., 1962. La vegetación y los suelos de un transecto altitudinal del declive occidental del Iztaccíhuatl (México).

[8]Madrigal S., X. 1967. Contribución al conocimiento de la ecología de los bosques de oyamel (*Abies religiosa* [HBK] Schl. & Cham.) en el Valle de México.

[9]Obieta, M. C. y Sarukhán K., J. "Estructura y composición de la vegetación herbácea de un bosque uniespecífico de *Pinus hartwegii*. I: estructura y composición florística". 75-126.

una aproximación sinecológica, principalmente (Nieto, 1987)[10].

De la cañada de Contreras, solamente se tienen colectas aisladas que están registradas en el Herbario Nacional Forestal "Biológo Luciano Vela Gálvez" (INIF), del Centro de Investigaciones Disciplinarias en Conservación y Mejoramiento de Ecosistemas Forestales (CENID-COMEF) del INIFAP.

Hasta donde se pudo investigar, no se tiene mayores antecedentes de estudios ecológicos del bosque de la cañada de Contreras.

ZONA DE ESTUDIO

La zona de estudio se ubica dentro de la cañada de Contreras en la Delegación Política Magdalena Contreras, al suroeste del Distrito Federal, México.

Forma parte de la Sierra de las Cruces, dentro de la región que continúa a la Sierra del Chichinautzin, y que constituye el parteaguas de la Cuenca de México con la Cuenca del Balsas (García y Falcón, 1979)[11]. Se ubica entre los 99° 16' 00" de longitud oeste, y los 19° 17' 00" de latitud norte (DDF, 1993)[12].

Según la antigua Secretaría de Agricultura y Ganadería (1970)[13], el arbolado de la cañada de Contreras linda por el norte con los pueblos de San Bartolo Ameyalco y Santa Rosa; por el sur, con los montes de la Hacienda de Eslava y los ejidos de San Nicolás Totolapa; por el oriente, con el pueblo de San Nicolás Totolapa, y por el poniente con el Desierto de los Leones, entre la Cruz de Coloxtitla y el Cerro San Miguel. (Figura N° 1).

La superficie está formada por la cuenca del río de La Magdalena, y limitada naturalmente por las crestas de las montañas que le rodean, quedando comprendidas 3,100 Ha de terrenos forestales de la Hacienda de la Cañada y el pueblo de La Magdalena. Corresponde a una zona protectora forestal (Moguel, 1991)[14].

[10]Nieto de Pascual P., C. 1987. Análisis estructural de las comunidades forestales de la Sierra del Ajusco, México.
[11]García de M., E. y Falcón de G., Z. 1980. Nuevo atlas Porrúa de la República Mexicana.
[12]Departamento del Distrito Federal. 1993. Reforestación urbana de la Delegación Magdalena Contreras, México.
[13]Secretaría de Agricultura y Ganadería. 1970. Código Forestal.
[14]Moguel Flores, A. 1991. "Areas protegidas". pp. 26-31.

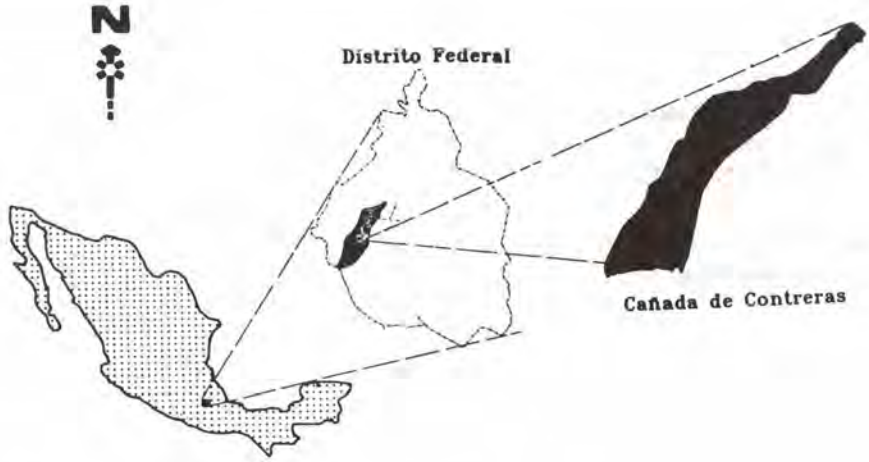


Figura N° 1. Localización de la zona de estudio.

Para la zona, el clima prevaleciente en el bosque de oyamel, según el sistema de Köppen modificado por García (1973)[15], es el **C(w$_2$)(w)(b')ig**, que corresponde a un templado moderado lluvioso, con invierno seco y la precipitación del mes más lluvioso de verano, mayor de 10 veces a la precipitación del mes más seco; la temperatura del mes más cálido inferior a 22° C, y la temperatura máxima, anterior al solsticio de verano.

METODOS

Una vez delimitada la zona de estudio, se realizaron varios recorridos de reconocimiento.

[15]Garcia, E. 1973. Modificación al sistema de clasifiación climática de Köppen.

Partiendo del hecho de que solamente se trabajó con oyamel, se aplicó un muestreo aleatorio simple (Cochran, 1953)[16], lo que permitió representar, indistintamente a esta especie en los diversos tipos de ambiente donde se desarrolla; es decir, en terrenos planos o de pendiente acentuada.

El tamaño de muestra se calculó con la técnica de medias acumuladas, con base en la densidad forestal (Grieg-Smith, 1983)[17]

La toma de datos se realizó mediante el levantamiento fitoecológico recomendado por Madrigal (1976)[18] porque considera tanto elementos cualitativos de descripción del sitio, como cuantitativos de los componentes bióticos y abióticos, utilizando fichas de campo.

El sitio de muestreo fue cuadrado (33x33m) con una superficie de 1,000 m^2 por tratarse del tamaño convencional para inventarios forestales (DGINF, 1974)[19]

La colecta botánica se realizó durante los recorridos de reconocimiento para tener acceso a la vegetación de especies anuales que florecen durante el verano. El muestreo para evaluar características fitosociológicas se realizó dentro de los sitios de 1,000 m^2. Las técnicas empleadas fueron las convencionales (Vela *et al.*, 1982)[20], a fin de favorecer el proceso de determinación taxonómica posterior en el Herbario Nacional Forestal (INIF). Los ejemplares debidamente identificados se entregaron para ser incorporados a dicha colección.

La evaluación del arbolado se realizó aplicando técnicas tradicionales (Madrigal, 1976), y su aparente salud o deterioro se ponderó mediante la identificación visual de síntomas, con base en la clave de Skelly *et al.* (1992)[21]. En algunos casos, se optó por traer muestras para evaluación en gabinete.

El muestreo edáfico se efectuó a razón de una muestra por cada sitio de muestreo (0-30 cm), siguiendo técnicas conocidas (Reyes *et al.*, 1980)[22]. El análisis físico y químico de las muestras colectadas se llevó acabo en el Laboratorio de Suelos del Departamento de

[16]Cochran, W.G. 1953. "Sampling techniques", pp.30-31.
[17]Grieg-Smith, P. 1983. Quantitative plant ecology.
[18]Madrigal S., X. 1976. Instructivo para el estudio fitoecológico del Eje Neovolcánico.
[19]Dirección General del Inventario Nacional Forestal (Ed.) 1974. Inventario Forestal del Estado de México y Distrito Federal.
[20]Vela G., L., Hernández R., A y Boyás D., J.C. 1982. Instructivo para la colecta de material botánico.
[21]Skelly, J.M.; Davis, D.D.; Merril, W.; Cameron, E.A.; Brown, H.D.; Drummond, D.B. *and* Dochinger, L.S. 1992. "Diagnosing injury in Eastern forest trees" pp. 1-19.
[22]Reyes C., R., J. Soto S., y J. Ma. Castro S. 1980. Guía para el muestreo de suelos forestales.

Biología de la Escuela Nacional de Estudios Profesionales Iztacala (ENEP-I). Consistió en la determinación de:

- color, en seco y húmedo por comparación utilizando tablas de Munsell (1975).[23]
- densidad aparente, por volumen.
- densidad real, por el método del pignómetro (Jackson, 1976).[24]
- espacio poroso, por densidad.
- textura, por el método de Bouyoucos (1951 *in* Jackson, *op. cit.*).
- materia orgánica, por el método de Walkley & Black (1957 *in Ibid.*).
- pH, por medio de potenciómetro.
- CICT, por el método de titulación con versenato 0.02 N (Jackson, *op.cit.*).
- Ca y Mg, por el mismo método anterior, y
- conductividad eléctrica , por medio del flamómetro (*Ibid.*).

RESULTADOS

a) Tamaño de muestra

Tomando como base la densidad forestal por sitio, el tamaño de muestra se determinó mediante un premuestreo, evaluando dicho componente en 20 sitios de 1,000 m^2 cada uno. De ello resultó que la curva se pondera alrededor de los 8 sitios (Cuadro N° 1), optándose por establecer 10 sitios (Figura N° 2).

b) Caracterización ecológica

La información ecológica reunida en los sitios de muestreo se refiere principalmente a los componentes registrados mediante la Ficha 1 del sistema de Madrigal (1976), que se ordenan en el Cuadro N° 2.

c) Datos florísticos

El levantamiento florístico realizado en los 15 sitios de estudio determinados como tamaño de muestra, reportó un total de 17 familias, 34 géneros y 40 especies. En el

[23]Munsell. 1975. Cartas de color del suelo.
[24]Jackson, M.L. 1976. Análisis químico de suelos.

cuadro N° 3 se ordenan las especies por familia y estrato vertical al que pertenecen, y en la figura N° 3 aparece la distribución de familias por número de especies.

SITIO N°	N° de Árboles	Σ Árboles	$\overline{X}$
1	32	0	0.00
2	20	52	26.00
3	18	70	23.33
4	30	100	25.00
5	20	120	24.00
6	21	141	23.50
7	22	163	23.28
8	26	189	23.62
9	23	212	23.55
10	21	233	23.30
11	35	268	24.36
12	19	287	23.91
13	38	325	25.00
14	17	342	24.42
15	30	372	24.80
16	21	393	24.56
17	18	411	22.83
18	31	442	24.55
19	27	469	24.68
20	16	485	24.25

Cuadro N° 1. Datos de densidad forestal para determinar el tamaño de muestra.

La predominancia de compuestas es evidente, así como ocurre con las familias uniespecíficas.

Su distribución es regular, a excepción de *Picris echioides* L. (Compositae), *Castilleja tenuiflora* Benth. (Scrophulariaceae), *Galium aschenbornii* Schawer. (Rubiaceae) y *Ceanothus coeruleus* Lag. (Rhamnaceae).

Estructura. En el bosque de oyamel se pueden distinguir cinco estratos verticales, desde el rasante hasta el dosel superior, de acuerdo a la clasificación de Madrigal (1976) y de Manzanilla (1974)[25].

[25]Manzanilla B., H. 1974. Investigaciones epidométricas y silvícolas en bosques mexicanos de *Abies religiosa*.

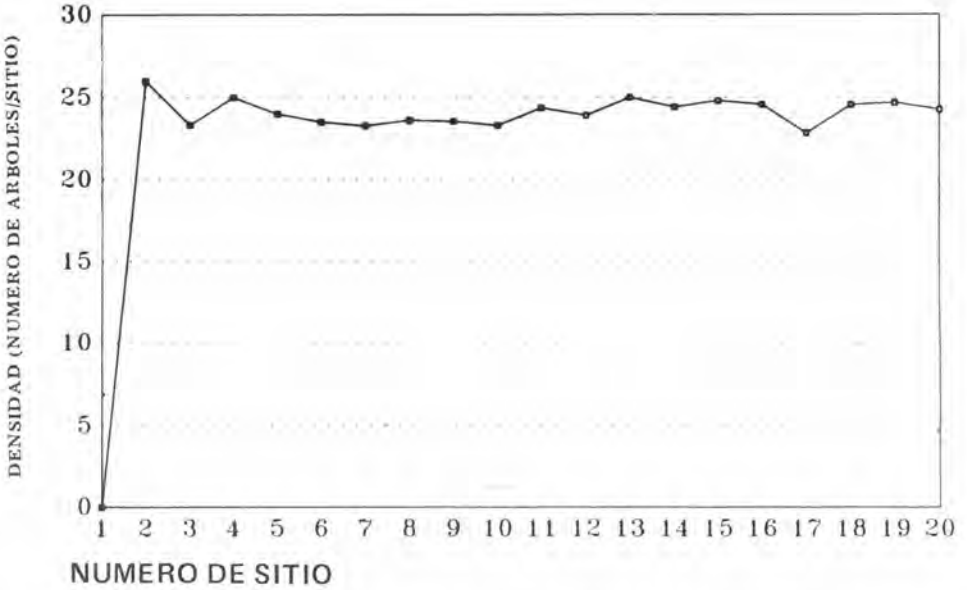


Figura N° 2. Ponderación de medias acumuladas para el tamaño de muestra.

	SITIO									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
EXP	SW	NE	SE	N	E	SW	S	SW	SW	S
PEND (%)	28	30	26.	35	10	40	27	30	32	15
ALT (msnm)	3 400	3 350	3 250	3 190	3 050	3 200	3 450	2 930	3 350	3 070
MR	AC	AC	AC	AC	PL	AC	ME	AC	AC	PL
C.HID.	H	MH	MH	MH	H	MH	MH	H	MH	MH
VEG (%)	70	55	80	75	60	80	75	65	50	70
MF (%)	5	5			5		5	10	5	5
G+P (%)	5	10	5	5	5			5	5	10
Roca (%)	10	30	15	10	20	10	20	20	30	15
Hojarasca:										
(%)	10	14	13	10	10	10	15	20	20	5
cm	5	10	8	20	10	15	8	10	6	3

Cuadro N° 2. Descriptores ecológicos principales del bosque de oyamel estudiado en La Cañada de Contreras.

EXP= exposición; PEND= pendiente; ALT=altitud; MR=microrrelieve (PL= plano, ME=medio, AC=accidentado); C.HID.= condiciones hídricas (H=húmedo, MH=muy húmedo); VEG= vegetación; M.F.=material fino; G+P=grava y piedra. El tipo de roca en la zona corresponde a basaltos y andesitas.

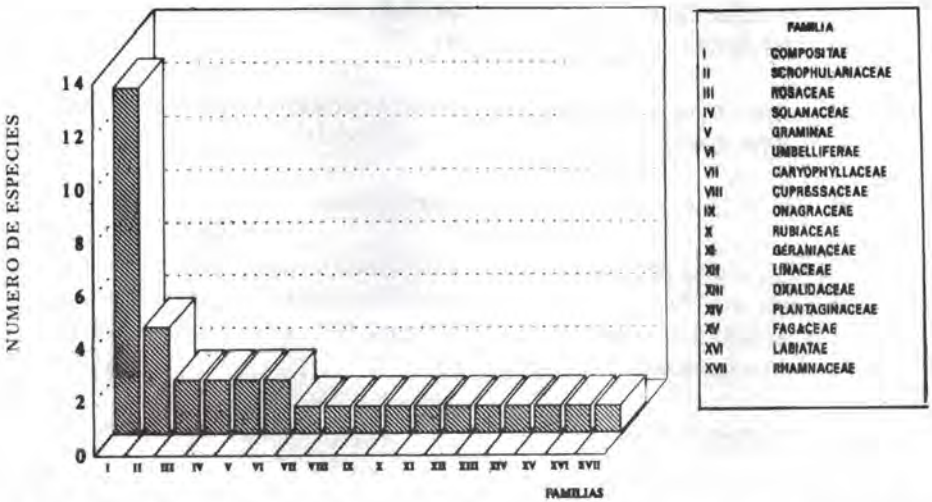


Figura N° 3. Distribución de las familias vegetales del bosque de oyamel de la cañada de Contreras.

En el estrato I o rasante (de 0.01 a 0.29 m de altura) se presenta una abundancia de musgos, compuestas y solanáceas, y algunos macromicetos (*Ammanita rubescens* (Pers. ex Fr.) S.F. Gray, *A. gemmata* (Fr.) Gill., *Gomphus floccosus* (Schewein.) Sing., *Lactarius salmonicolor* Heim & Leclair , *Foliota* sp. y *Boletus edulis* (Bull.) Fr.); este estrato estuvo ausente en el 20% de los sitios.

El estrato II o herbáceo (de 0.30 a 0.90 m de altura) es el más abundante, y comprende al 80% de las especies identificadas. La especie dominante por cobertura es *Alchemilla procumbens* Rose.

El estrato III o arbustivo (de 0.91 a 1.5 m de altura) es de distribución irregular, pues en 10% de los sitios es tan abundante que impide el acceso de luz a los estratos inferiores, y en el resto es de escaso a regular. Aquí, las especies predominantes son *Senecio rhombifolius* Sch. Bip. y *Symphoricarpos microphyllus* HBK.

El estrato IV o arbóreo inferior (de 3 a 15 m de altura) es escaso, con ejemplares de oyamel de fustes delgados (15 a 25 cm de diámetro normal, DAP).

El estrato V o arbóreo superior (de 16 a 35 m de altura) es igualmente escaso, con ejemplares de oyamel de fustes medios (45 cm de DAP), pero de coberturas mucho más amplias que los del estrato inferior. (Figura N° 4)

Desafortunadamente en los primeros tres estratos no se observó renuevo de oyamel, lo que confina a la especie a los estadios maduros (Figura N° 2).

La presencia de trepadoras, epífitas y parásitas es muy escasa.

Fenología. En función del período de colecta, y partiendo de la base de que la mayoría de las especies herbácea son anuales, se encontró a la mayoría en floración, lo que favoreció su determinación taxonómica. En la figura N° 5 se presenta la condición encontrada en la flora asociada.

d) Datos forestales

Densidad forestal. La densidad forestal calculada por conteo directo, fue de 29 árboles de oyamel por sitio, en promedio, con una población total de 265 ejemplares árboreos de ésta especie y 27 entre encinos (*Quercus rugosa* Neé.), cedros (*Cupressus lindleyi* Klotsch.), y madroños (*Arbutus glandulosa* Mart. *et* Gal.). La distribución espacial es agregada, *i.e.*, que se dispone de forma irregular sobre el terreno.

Dasometría. En este apartado se consideraron las siguientes variables: altura, DAP, cobertura y edad. El fuste limpio y la profundidad de copa no se estimaron en virtud de que el cálculo de volúmenes no se contempla como información de interés para un bosque bajo conservación.

Con base en los datos recabados en campo, se calcularon intervalos de valor para cada variable, y su valor promedio, a fin de hacer una caracterización general de la población. En el cuadro N° 4 se ordena la información.

ESPECIE	ESTRATO*	FAMILIA
Abies religiosa	IV,V	Pinaceae
Acaena elongata	I	Rosaceae
Alchemilla procumbens	II	Rosaceae
Arbutus glandulosa	IV	Ericaceae
Artemisa ludoviciana	II	Compositae
Bidens tripenervia	II	Compositae
Brassica campestris	II	Cruciferae
Bromus carinatus	II	Graminae
Castilleja tenuiflora	II	Scrophulariaceae
Ceanothus coeruleos	III	Rhamnaceae
Cerastium purpusii	II	Caryophyllaceae
Cirsium ehrenbergii	II	Compositae
Cupressus lindleyi	IV	Cupressaceae
Erigeron galeotii	II	Compositae
Eryngium carlinae	II	Umbelliferae
E. protaeflorum	II	Umbelliferae
Eupatorium pycnocephalum	II	Compositae
Euphorbia furcillata	II	Euphorbiaceae
Fuchsia microphylla	III	Onagraceae
Galium aschenbornii	II	Rubiaceae
Geranium seemanii	I	Geraniaceae
Graphalium americanum	II	Compositae
Graphalium oxyphyllum	II	Compositae
Linnum mexicanus	II	Linaceae
Muhlenbergia macroura	II	Graminae
Oxalis alpina	I	Oxalidaceae
Penstemon campanulatus	II,III	Scrophulariaceae
Penstemon gentianoides	II,III	Scrophulariaceae
Physalis stapelioides	II	Solanaceae
Picris echioides	II	Compositae
Plantago major	II	Plantaginaceae
Quercus rugosa	IV	Fagaceae
Salvia elegance	II	Labiatae
Senecio Barba-johannis	III	Compositae
Senecio platanifolius	III	Compositae
Senecio rhombifolius	III	Compositae
Senecio tolucanus	III	Compositae
Sibthorpia repens	I	Scrophulariaceae
Siegesbeckia jorullensis	II	Gompositae
Solanum cervantessi	III	Solanaceae
Symphoricarpos microphyllus	III	Caprifoliaceae

Cuadro N° 3. Especies vegetales asociadas al bosque de oyamel (*Abies religiosa*) en La Cañada de Contreras.

* I = rasante II = herbáceo III = arbustivo IV = arbóreo inferior V = arbóreo superior

ELEMENTO DASOMÉTRICO	INTERVALO		
	Mínimo	Máximo	Promedio
Altura total (m)	8	35	22
D.A.P. (cm)	15	110	45.8
Cobertura (metros cuadrados)	1	14	7
Edad (años)	21	97	57

Cuadro N° 4. Resumen de los valores dasométricos de la población de oyamel estudiada en la cañada de Contreras.

La distribución de la población en función de cada uno de los elementos dasométricos, se presenta en las figuras siguientes, en donde se esquematizan las características de la población.

Los principales descriptores dasométricos indican lo siguiente:

Alturas. Casi la mitad del arbolado (49.44%) se agrupa entre los 21 y los 30 m; sólo el 15% es superior a esta dimensión, y el menor porcentaje corresponde al arbolado menos alto (Figura N°6).

Diámetros. Al ordenar los valores de DAP en categorías de 10 cm, se observa una distribución normal, en donde se tiene un número muy reducido de los diámetros extremos, y un incremento de la frecuencia hacia el intervalo entre los valores medios (Figura N° 7).

Coberturas. La distribución del arbolado por este atributo indica que el 65.54% de la población tiene coberturas reducidas y que solamente un individuo tiene una cobertura extrema (Figura N° 8).

Edades. La distribución de las edades no sigue una tendencia normal, pues la población más abundante tiene entre 21 y 40 años, hay pocos jóvenes, menos maduros y se encontró un número de individuos sobremaduros, mayor a estos dos grupos (Figura N° 9).

Sanidad. Al analizar el estado de salud aparente sobre una base sintomatológica, se observa que la anomalía más frecuente es la defoliación, que se caracteriza por una ausencia del follaje en las ramas. A éste continúa la pérdida de ramas inferiores. El moteado foliar es menos alto, pero corresponde al 12.20% de la incidencia de daños, al

igual que el ocoteo. El resto son muy semejantes y poco importantes en el conjunto (Figura N° 10).

e) Relaciones entre las variables

Ecología-Arbolado. Al tratar de asociar la densidad forestal con las variables ambientales principales, se aprecia una preferencia de las poblaciones más abundantes hacia la **exposición** suroeste, sin que acusen relaciones de dependencia estadística, en virtud de que se presentan sitios con densidades forestales cercanas a los valores extremos superiores con exposiciones distintas.

Las **pendientes** más pronunciadas coinciden con densidades altas, *i.e.*, los sitios 2, 6, 8, y 9, sin acusar dependencia, a partir de la distribución más bien regular de las densidades en los demás sitios.

La **altitud** y la densidad forestal son variables independientes, al presentarse un número alto de individuos tanto en niveles inferiores como altos, igualmente.

No se presenta una relación clara entre la **exposición** y la densidad forestal

Por lo que se refiere a la **topografía** tiende a ser accidentada, y las condiciones ambientales se caracterizan por una humedad fuerte, en general.

La **hojarasca** no es especialmente profunda ni abundante, acumulándose en algunos claros en proporción irregular.

Arbolado-Sanidad. Al revisar la incidencia de daños en el arbolado, se observa que la mayor proporción de individuos sanos se dá entre los árboles del estrato medio superior (21 a 30 m), mismos que igualmente son los más abundantes; se dá mayor proporción de daños en individuos de menor altura y la menor frecuencia se manifiesta en los individuos menos desarrollados en este sentido (Figura N° 11).

Por lo que se refiere a su distribución diamétrica, se agrupan los individuos más dañados en frecuencia entre las categorías diamétricas entre los 10 y los 20 cm, y los 40 y los 50 cm, y los menos dañados se agrupan entre los de diámetros entre los 30 y los 40 cm, que también son los más (Figura N° 12).

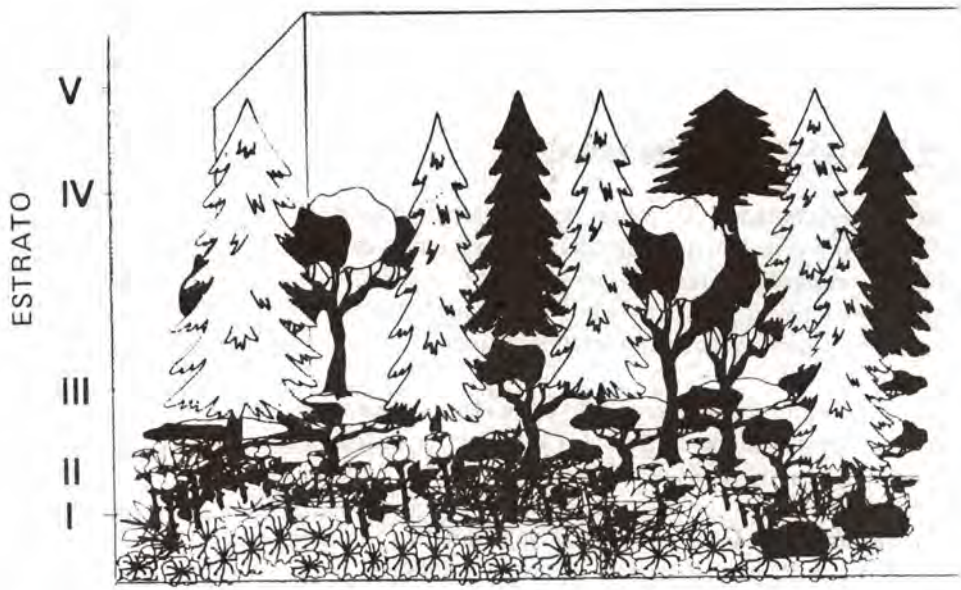


Figura N° 4 Disposición estructural de la comunidad vegetal del bosque de oyamel estudiado en la cañada de Contreras.

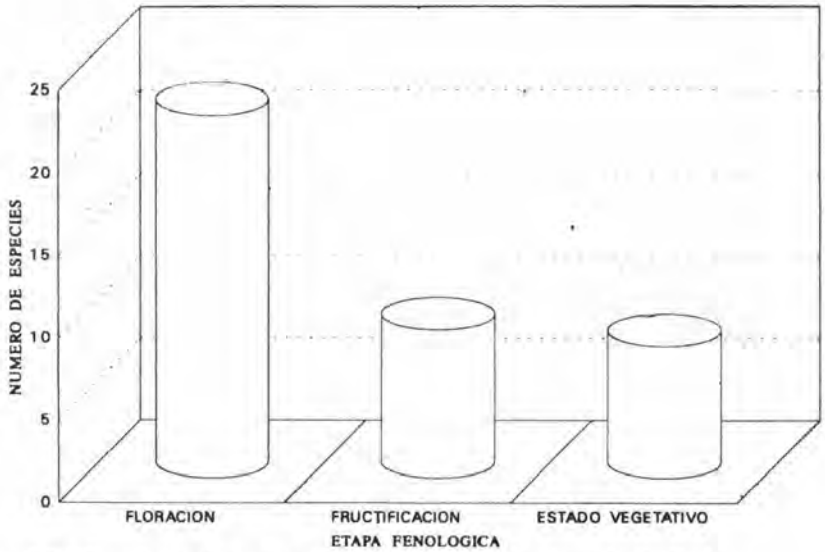


Figura N° 5 Fenologia de la vegetación del bosque de oyamel estudiado.

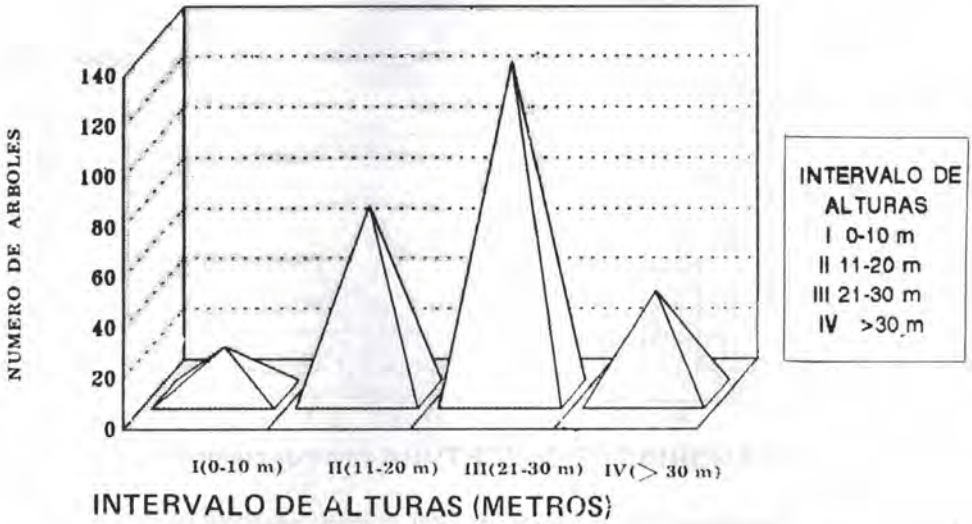


Figura N° 6. Distribución de alturas de oyamel de la cañada de Contreras.

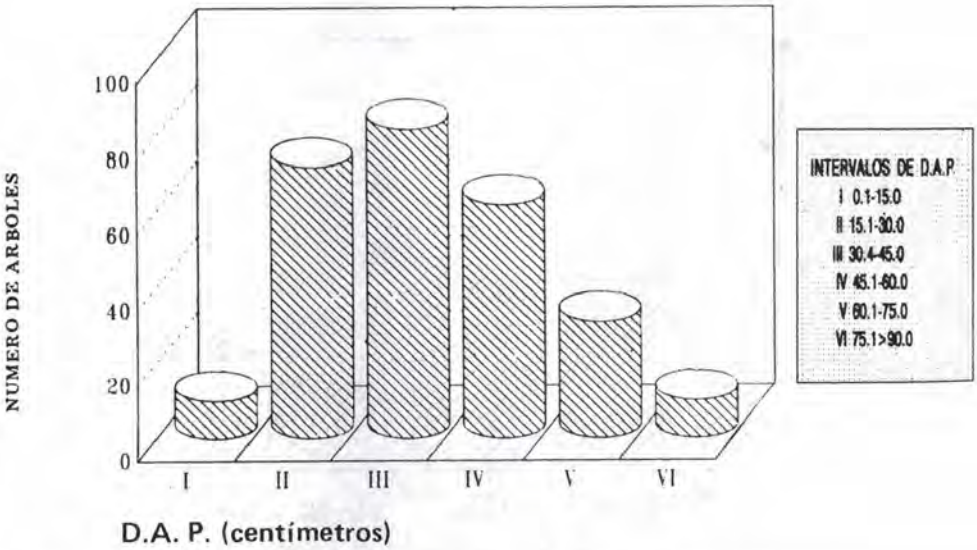


Figura N° 7. Distribución de diámetros de oyamel en la cañada de Contreras.

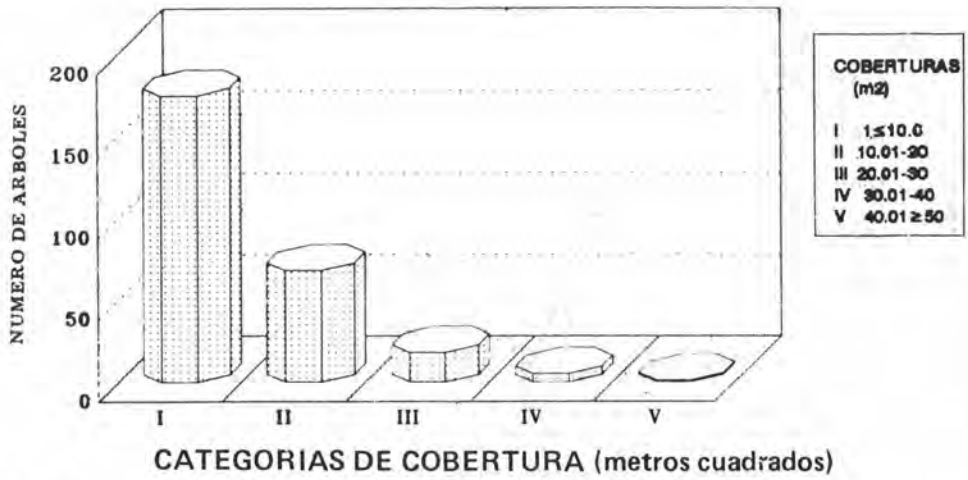


Figura N° 8. Distribución de las coberturas del oyamel estudiado en la cañada de Contreras.

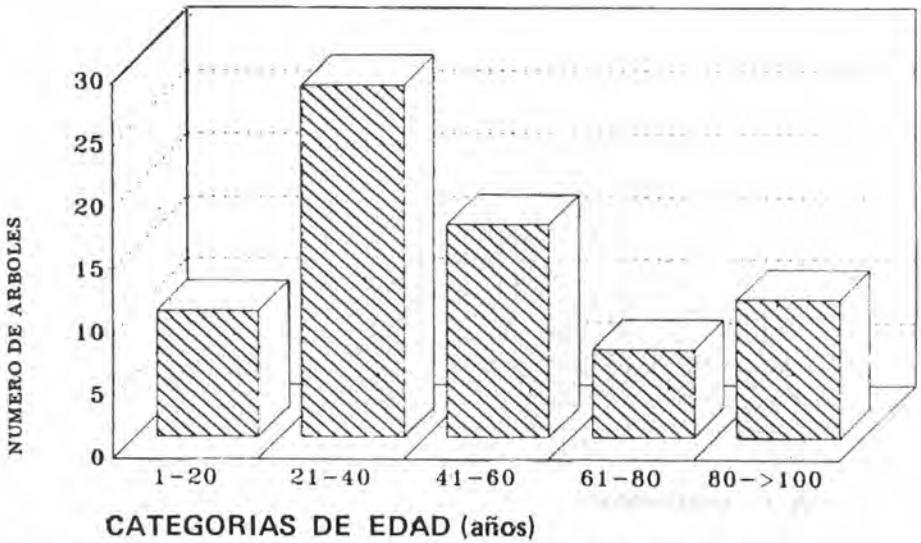


Figura N° 9. Distribución de edades de la población estudiada de oyamel.

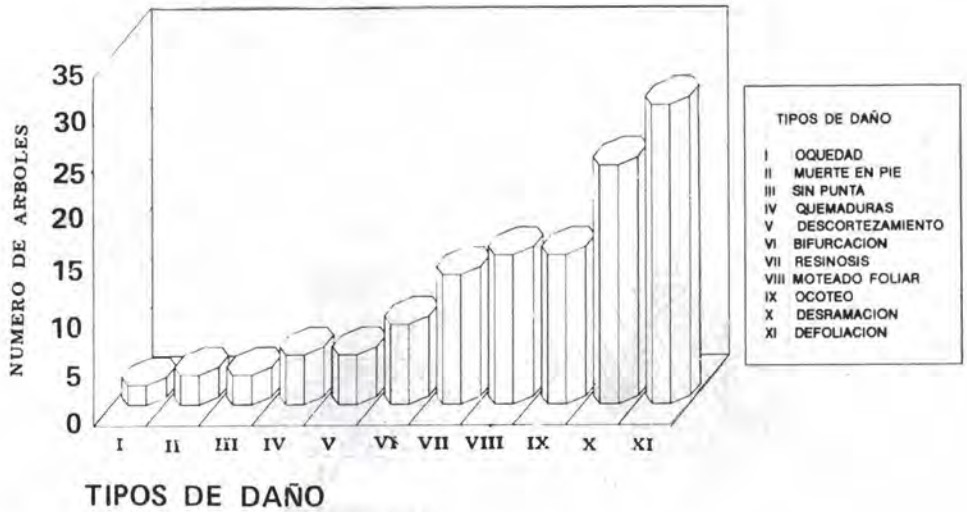


Figura N° 10. Tipos de daño en oyamel de la cañada de Contreras.

Figura N° 11. Relación de árboles sanos y dañados de oyamel respecto a la altura.

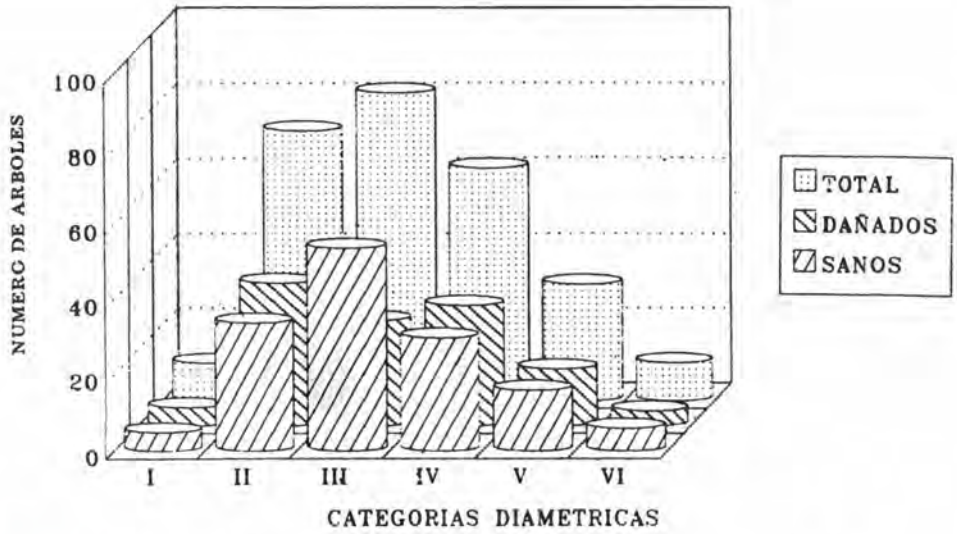


Figura N° 12. Relación de árboles sanos y dañados de oyamel respecto al DAP.

e) Datos edáficos

En el cuadro N° 5 se ordenan los datos promedio obtenidos de los análisis de las muestras de suelos, ordenadas por profundidad.

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El **tamaño de muestra** de 10 sitios se pondera incialmente a partir de los ocho, y varía poco, salvo en una caída más pronunciada, que se recupera y vuelve a ponderarse entre los 18 y los 19 sitios. Esto resulta de un número bastante regular de árboles por sitio durante el muestreo piloto. Fernández (1987)[26] encontró una curva de comportamiento semejante para el oyametal de la montaña La Malinche o Malintzin en el Estado de Tlaxcala, lo que no necesariamente indica que esto es una característica común de la

[26]Fernández G., Ma. T.E. 1987. "Estudio ecológico del bosque de *Abies religiosa* [HBK] Schl.& Cham. en el Parque Nacional "La Malintzin" en el Estado de Tlaxcala, México". pp. 19-74.

especie. pues Nieto (1987) obtuvo una distribución numérica semejante para bosque de coníferas puras y mezcladas en la Sierra del Ajusco.

CARACTERÍSTICA	Profundidades (cm)		
	0-20	20-40	40-60
TEXTURA	franco-arenoso	franco-arenoso	franco-arenoso
arena (%)	74	76	80
limo (%)	24	22	18
arcilla (%)	2	2	2
D.A. (gl/ml)	0.89	0.85	0.84
D.R. (gl/ml)	2.39	2.17	1.72
POROS (%)	62.61	60.90	51.28
pH	6.77	6.80	7.35
CICT (meq/100g)	18.89	22.57	18.35
M.O. (%)	11.32	12.72	23.52
Ca (meq/100g)	1.92	0.95	1.72
Mg (meq/100g)	5.95	5.38	4.03
Na (meq/100g)	0.80	0.96	1.00
K (meq/100g)	0.13	0.13	0.12
CONDUCTIVIDAD ELECTRICA			
salinidad (%)	0	0	0
COLOR	10 yr3/3	10 yr3/3	10 yr3/3
seco	café obscuro	café obscuro	café-café obscuro
húmedo	10 yr2/2 café muy obscuro	10 yr2/2 café muy obscuro	10 yr3/2 café

Cuadro N° 5. Características físicas y químicas de los datos de los suelos del oyamental estudiado.

Por lo que toca a la **flora**, la predominancia de pocas familias con varias especies es común en bosques templados; en oyametal, la frecuencia de compuestas es mayor a las de las gramíneas, como se verifica en el estudio actual, por la presencia de un ambiente húmedo y con poca luz que se filtra hacia el suelo, a diferencia del pinar, donde la mayor cobertura la ocupan los pastos. La mayoría de las especies identificadas coincide con las de esta comunidad forestal en zonas circunvecinas, como el Ajusco (Nieto, *Ibid.*) y el Desierto de los Leones (Nieto *et al.*, 1994)[27].

[27]Nieto de Pascual P., C.; Boyas D., J.C. y M. T. E. Fernández G. 1994. Estudio ecológico de una población de

La **estructura** del bosque dispuesto en cinco estratos verticales, indica que se trata de una comunidad que ha alcanzado un estado de desarrollo pleno, pues sus alturas máximas rebazan los 30 m, dimensión que es común para el Valle de México, aún cuando no concuerda con los 60 m que señala Martínez (*op. cit.*) para ésta especie como altura máxima. La mayor abundancia de especies herbáceas y arbustivas sugieren disturbio, pues en condiciones naturales la vegetación agrupada en estos dos estratos es escasa (Rzedowski y Rzedowski, 1979)[28].

La información fenológica no destaca la presencia de conos, ni se observaron en el suelo; sin embargo, este aspecto debe tomarse con cierta reserva en virtud de que la época de muestreo florístico no coincide con la de producción de semilla, lo que no necesariamente significa que la población no sea capaz de propagarse naturalmente.

La predominancia de plantas en floración es correcta en tanto se da una abundancia de plantas anuales, cuya producción de flores es en el verano, preferentemente. Esto es común en el sotobosque del oyamel del Valle de México (Madrigal, 1967).

La densidad forestal de 29 árboles por sitio de 1,000 m^2 en promedio, quedaría intermedia entre los datos reportados por Manzanilla (*op. cit.*) para bosque virgen y bosque en explotación, que corresponden a 331 y 224 por hectárea respectivamente, y al 50% de lo reportado para bosque natural, que supone un bosque profuso. Sin embargo, el dato es congruente con lo encontrado por Madrigal (1967, *Ibid.*) para el Valle de México, en términos generales, así como por lo que registraron Fernández (*op. cit.*) para Tlaxcala y Nieto (1987) para Sierra del Ajusco.

Los descriptores dasométricos sugieren una población alta, mayoritariamente, en equilibrio con la proporción de sus diámetros, sin que sean numerosos los árboles de alturas máximas, lo que es frecuente encontrar en las sierras circunvecinas. Igualmente, son pocos los individuos de coberturas muy amplias, y se presenta una clara dominancia de coberturas reducidas; esto sugiere la posibilidad de haber existido competencia por luz en el lugar, a partir de una densidad forestal superior a la actual.

Al revisar cada componente, por lo que se refiere a las alturas, los valores encontrados se ubican dentro de la categoría de estrato medio del bosque virgen que reconoció Manzanilla (*op.cit.*), pues los valores mínimos de los tres tipos de bosque señalados por el autor quedan por debajo de las alturas máximas encontradas en el estudio actual, y las alturas máximas rebazan con casi el doble a las estudiadas para el estrato superior. Por lo anterior, pudiera sugerirse, entonces, un bosque poco perturbado.

Abies religiosa [HBK] Schl & Cham en el Desierto de los Leones, México, D.F.

[28]Rzedowski, J. y G.C. de Rzedowski. 1979. "Flora fanerogámica del Valle de México". pp. 47-48.

El intervalo de los diámetros normales identificados corresponderían al estrato superior del bosque virgen referido en sus valores mínimos, pero sus valores medios se agruparían dentro del estrato medio del bosque natural, y los valores máximos encontrados. La mayor frecuencia se verifica sobre portes delgados, lo que se confirma aun desde una aproximación visual.

La predominancia de coberturas menores a 10 m^2 indica una competencia por luz, como se indicó anteriormente, lo que no necesariamente se presenta en el momento actual, pues la apertura del dosel no rebasa el 60% y la distancia al vecino más cercano es de 7 m. Dicha competencia se puede vincular positivamente con el hecho de que la casi mitad de los árboles (49.44%) alcanzan alturas entre los 21 y los 30 m, lo que bien puede deberse al carácter heliófilo de la especie (Madrigal, 1967).

Por otro lado, al identificar la cobertura con las formas de las copas, la distribución encontrada coincide con la de un bosque natural en el sentido de que existen pocos individuos dominantes, y un incremento en número, a medida que se incide en las categorías inferiores (co-dominates, e intermedias). Así, los árboles de mayor desarrollo "...tienden a adoptar forma cónica con grandes ramas y copas anchas y profundas" (Hawley and Smith, 1972)[29], y la condición de árboles dominados o suprimidos prácticamente no existe.

Al ponderar la relación entre las edades y las alturas, se encuentra la distribución de la Figura N° 13. Se puede apreciar que los árboles más altos son los más viejos, lo que responde al hecho de que "...los abetos verdaderos (*Abies*) son... notoriamente lentos para alcanzar su altura máxima" (Baker, 1950)[30].

El análisis de regresión bajo el modelo:

$$y = \alpha + \beta x$$

resultó en un ajuste satisfactorio.

La relación entre las edades y los diámetros es interesante porque indica el tiempo requerido para que un árbol manifieste madurez a través del grosor del fuste. Al aplicar el modelo anterior, igualmente el ajuste fue satisfactorio (Figura N° 14). Estos datos coinciden con los cálculos reportados para la Sierra del Ajusco (Nieto, 1987).

[29]Hawley, R. *and* Smith, D.M. 1972. "Silvicultura práctica". pp. 371-380.
[30]Baker, F.S. 1950. "Principles of silviculture". pp. 281-343.

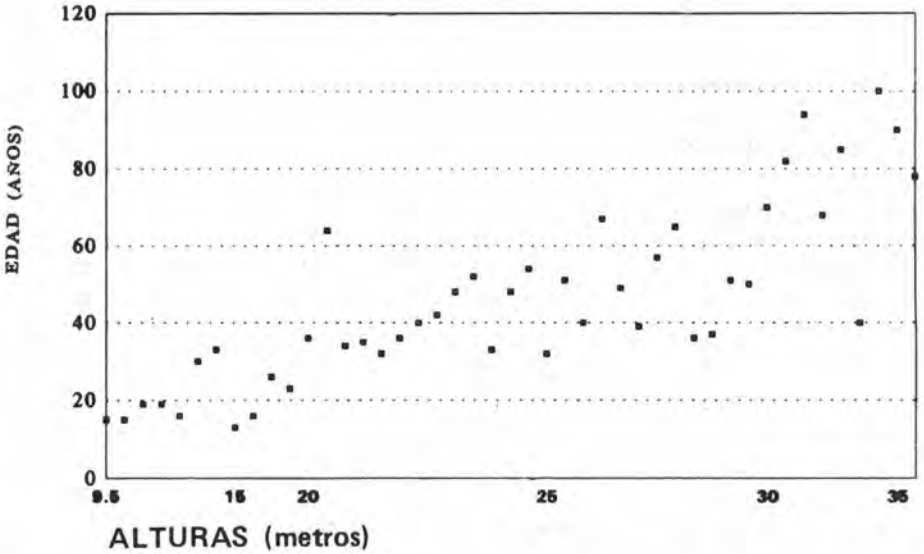


Figura N° 13. Relación altura-edad de *Abies religiosa* en la cañada de Contreras.

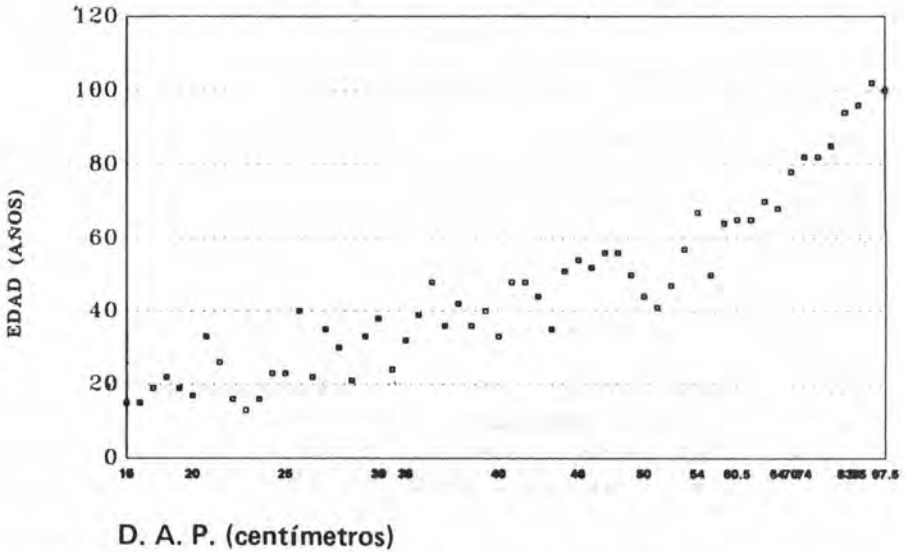


Figura N° 14. Relación DAP-edad de *Abies religiosa* en la cañada de Contreras.

De los síntomas de daño del arbolado, destaca el hecho de que más de la mitad de los árboles estudiados (53.93%) gozan de aparente salud. Del 46% restante, es interesante analizar el origen posible de cada daño, pues permite vislumbrar si la población está *estresada* por agentes endógenos o exógenos al ecosistema.

Las oquedades en los fustes pueden deberse al impacto físico derivado del troce de ramas, o bien por necrosis debida a una herida mal cicatrizada. Su relevancia estriva en que puede dar entrada a hongos que eventualmente producen malformaciones conocidas como "cánceres" (Boyce, 1961)[31].

A pesar de que este daño no es muy frecuente, coincide con lo encontrado en árboles de la misma especie en Montealegre (Nieto, 1986).

La poca frecuencia de árboles muertos en pie sugiere que la población no presenta cuadros de riesgo severo de infestación o enfermedad.

Las puntas trozadas, igualmente se encontraron en forma aisalda y en proporción mínima; el hecho no tiene mayor significado en términos de salud, pero eventualmente conduce a un desarrollo anómalo de la copa, pues de ser árboles naturalmente cónicos, adquieren formas esferoidales o de candelabro, y no alcanzan alturas sobresalientes al estar ausente el meristemo apical. Por lo general obedecen a efectos meteorológicos, o bien a vandalismo durante las etapas juveniles de su crecimiento.

El descortezamiento de fustes en los árboles de esta especie en el Distrito Federal ha sido uno de los padecimientos más severos, pues han afectado a extensas poblaciones forestales en el Parque Desierto de los Leones y en la Sierra del Ajusco (Vázquez, 1987)[32], y el aspecto que ofrecen es desolador. Sin embargo, en la zona de estudio, el síntoma de deterioro es incipiente pues las placas corticales están ligeramente desprendidas en los casos observados; por debajo de ellas, se advirtieron algunas galerías, y por sus características, de acuerdo a la literatura, se trataría de la acción de *Scolytus* sp. (Perusquía, 1982)[33]. El hecho de que esté presente solamente en cinco de los árboles estudiados indica que es un problema menor.

Las manifestaciones de quema tan inconspícuas seguramente resultan de descuidos tales como fogatas o colillas, en virtud de que la zona tiene un uso principalmente

[31]Boyce, J.S. 1961. "Forest pathology". pp. 29-38.
[32]Vázquez S., J. 1987. El saneamiento y la limpia forestales en el Desierto de los Leones, sus fundamentos.
[33]Perrusquía O., J. 1982. Contribución al conocimiento de los áfidos forestales del género *Cinara* en parte del Eje Neovolcánico (Distrito Federal, México y Michoacán).

recreativo, y el pastoreo, hasta donde se pudo verificar, no se practica en el lugar. Las lesiones se aprecian en la base de los fustes como manchas carbonizadas.

Las bifurcaciones se presentan con mayor frecuencia que los síntomas anteriores, pero su origen probablemente se encuentre en etapas juveniles. Coincide con un manchado en la orqueta por la acumulación de hojarasca y humedad. Salinas Quinard opina que esta condición favorece la reproducción de "... hongos que destruyen las capas externas del árbol, y se internan hasta barrenarlo y matarlo" (1984, *in* Nieto, 1986).

La resinosis se observó como grumos resinosos blanquecinos y/o escurrimiento de resina por el fuste. Se asocia este síntoma con galerías subcorticales, pero en sólo cinco de los 13 casos se registró desprendimiento incipiente de trozos de corteza.

El ocoteo se caracteriza por la ausencia de trozos de las capas exteriores del fuste por impacto de cuchillo o hacha; a diferencia de la práctica común, esta manifestación no tiene propósitos de resinación, sino de obtención de material combustible para fogatas, o bien por vandalismo. Como herida del tejido, puede degenerar en un problema por la acción de microorganismos.

El moteado foliar solamente se observó en las hojas de las ramas inferiores porque no se tuvo acceso a los otros dos tercios -medio y superior- de las copas, debido a su enorme tamaño. Los síntomas observados se caracterizan por un moteado clorótico que se colapsa en placas que pueden convertirse en un bandeado amarillo que eventualmente se torna café. A veces coincide con una quemadura de las puntas de color café-rojizo que se vuelve necrótico. De acuerdo a la literatura especializada, estos son indicadores de la presencia de gases oxidantes, particularmente ozono (O_3) (Skelly *et al.*, *op. cit.*).

Aun cuando el número de árboles determinados con daños de este tipo corresponde a un 18.45%, probablemente el número sea mayor, pues por lo general estas manifestaciones se acentúan en las partes superiores de las copas por encontrarse en contacto más directo con los contaminantes atmosféricos, pero que desfortunadamente no se pudieron revisar.

Este padecimiento suele ir acompañado de defoliación, que se caracteriza por la pérdida prematura del follaje.

El daño se observó de lejos y de cerca. A distancia, al hacer una división imaginaria de la copa en tres tercios en forma transversal, y en dos mitades en forma longitudinal, de

manera tal que queden seis sectores (Alvarado, 1989)[34], se estimó una defoliación entre el 10 y el 20%, lo que le imprime al arbolado un aspecto de copas poco profusas.

De cerca, al revisar las ramas, se advierte un desprendimiento de las acículas de las años más viejos, es decir, que la retención se dá a partir del tercer año. Coincide con la presencia de moteado foliar y de puntas deterioradas.

Los datos recabados en campo indican que es el daño más frecuente en el bosque estudiado. Aún cuando se trate de información visual, los resultados concuerdan con lo declarado por Alvarado *et al.* (1993)[35] en el sentido de que el deterioro por la acción de oxidantes fotoquímicos, además de la Sierra del Ajusco y el Parque Desierto de los Leones, también se ha observado en los bosques de Contreras.

La pérdida de ramas es un fenómeno normal durante el crecimiento por la competencia por luz y la reducción paulatina de los espacios vecinales. Sin embargo, esta condición se asocia con los efectos del ozono sobre el arbolado (Miller, 1973)[36]. La frecuencia relativamente alta por este daño, sugiere la relación con los oxidantes fotoquímicos, pues se pudo advertir moteado foliar y pérdidas de acículas sobre los mismos individuos registrados con este síntoma.

En relación al suelo, el color obscuro concuerda con lo reportado por Aguilera (1965)[37] para suelos de ando. Ésto, además de la textura, que puede explicarse por el alto contenido de materia orgánica, la cuál de igual forma influye en los valores de pH y de capacidad de intercambio catiónico (CICT), por el proceso de humificación de la materia orgánica, y los bajos contenidos de arcilla. Tal situación se refleja en la estructura poco desarrollada y a los bajos valores de densidad real encontrados, lo cual concuerda con lo reportado por Hiroishi (1974)[38] y Shimada (1972)[39]. La baja cantidad de arcillas define una pobre retención de nutrientes, que se puede asociar con la alta precipitación pluvial del lugar.

Así, en términos generales, los resultados en sus componentes principales, son muy cercanos a los obtenidos por Anaya (*op.cit.*) en el Iztaccíhuatl, por Madrigal (1967) en

[34]Alvarado R., D. 1989. "Declinación y muerte del bosque de oyamel (*Abies religiosa*) en el sur del Valle de México". pp. 43-44.

[35]Alvarado R., D., L.I. Bauer *and* J. Galindo A. 1993. "Decline of sacred fir (*Abies religiosa*) in a forest park South of Mexico City".pp. 115-121.

[36]Miller, P.R. 1973. "Oxidant-induced community change in a mixed conifer forest".pp. 101-117.

[37]Aguilera H., N. 1965. Suelos de ando. Génesis, morfología y clasificación.

[38]Hiroishi S., M. 1974. Estudio de algunos perfiles de suelos derivados de cenizas volcánicas de los volcanes Xitle, Teuhtle, Chichinautzin y el cerro Tres Cumbres.

[39]Shimada M., K. 1972. Estudio de algunos perfiles de suelos derivados de cenizas volcánicas y de ando del Ajusco.

distintos puntos del Valle de México, con Romero (1986)[40] en el Desierto de los Leones, y con los de la Sierra del Ajusco (Nieto, 1987, *op. cit.*). Esto es importante porque, a opinión de Rzedowski (1978)[41], las características edáficas de este tipo de comunidad no diferen significativamente unas de otras por efectos de localización.

CONCLUSIONES

1ª. El bosque de oyamel (*Abies religiosa*) de la Cañada de Contreras es una comunidad alta de 35 m, integrada por cinco estratos verticales, cuya profusión de especies arbustivas y herbáceas confirman la presencia de disturbio.

2ª. La población forestal tiene una densidad media con respecto a la Cuenca de México, con un número reducido de árboles viejos de gran porte, y una predominancia de diámetros medios y de coberturas reducidas.

3ª. Los daños del arbolado más frecuentes se asocian con contaminates atmosféricos, particularmente ozono.

4ª. Los suelos son profundos, bien drenados, ricos en materia orgánica y profundos, como los característicos de esta comunidad.

BIBLIOGRAFÍA

Aguilera H., N. 1965. Suelos de ando. Génesis, morfología y clasificación. Serie de Investigación Nº 6. ENA-Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.12-15 p.

Alvarado R., D. 1989. "Declinación y muerte del bosque de oyamel (*Abies religiosa*) en el sur del Valle de México". Tesis de Maestría. CP. Chapingo, Méx. pp. 43-44.

[40]Romero C., J. 1986. Estudio de reconocimiento de los suelos forestales del Parque Cultural y Recreativo Desierto de los Leones.

[41]Rzedowski, J. 1978. "Vegetación de México".pp. 302-310.

Alvarado R., D., L.I. Bauer *and* J. Galindo A. 1993. "Decline of sacred fir (*Abies religiosa*) in a forest park South of Mexico City". Environmental Pollution, 80:115-121.

Anaya L., A. L., 1962. La vegetación y los suelos de un transecto altitudinal del declive occidental del Iztaccíhuatl (México). INIF. Bol. Téc. 65. México. 67 p.

Baker, F.S. 1950. "Principles of silviculture". McGraw-Hill Book Company, Inc. New York. pp. 281-343.

Bauer, L.I. de *and* Krupa, S.V. 1990. "The Valley of Mexico: Summary of observational studies on its air quality and effects on vegetation". Environmental Pollution, 65: 109-118.

Bauer, L.I. de, Hernández T., T. *and* Manning, W.J. 1985. "Ozone causes needle injury and tree decline in *Pinus hartwegii* at high altitudes in the mountains around Mexico City". Journal of Air Pollution Control Assoc. 35(8): 838.

Boyce, J.S. 1961. "Forest pathology". McGraw-Hill Book Company, Inc. New York. pp. 29-38.

Cochran, W.G. 1953. "Sampling techniques". John Wiley & Sons, Inc. New York. pp. 30-31.

Chacón S., J. M., y Sánchez C., J. 1986. "Dinámica de establecimiento de la regeneración de *Pinus arizonica* Engelm". INIFAP. Revista Ciencia Forestal 11(59): 15-42. México.

Departamento del Distrito Federal. 1993. "Reforestación urbana de la Delegación Magdalena Contreras". México. pp. 5-7

Dirección General del Inventario Nacional Forestal (Ed.) 1974. Inventario Forestal del Estado de México y Distrito Federal. SFF/SAG. Publicación Especial N° 29. México. 82 p.

Fernández G., Ma. T.E. 1987. "Estudio ecológico del bosque de *Abies religiosa* [H B K] Schl.& Cham. en el Parque Nacional "La Malintzin" en el Estado de

Tlaxcala, México". Tesis Profesional. Escuela Nacional de Estudios Profesionales-Iztacala.UNAM. pp. 19-74.

García de M., E. y Falcón de G., Z. 1980. Nuevo atlas Porrúa de la República Mexicana. Ed. Porrúa, S.A. México. pp. 40-42.

García, E. 1973. "Modificación al sistema de clasifiación climática de Köppen". Instituto de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México. México. 103 p.

Grieg-Smith, P. 1983. Quantitative plant ecology. Blackwell Scientific Publications. Studies in Ecology. Vol. 9. Oxford, G.B. pp. 25-38.

Hawley, R. *and* Smith, D.M. 1972. "Silvicultura práctica". Ediciones Omega, S.A. Barcelona, España. pp. 371-380.

Hiroishi S., M. 1974. Estudio de algunos perfiles de suelos derivados de cenizas volcánicas de los volcanes Xitle, Teuhtle, Chichinautzin y el cerro Tres Cumbres. Tesis. Facultad de Ciencias. UNAM. México. 42 p.

Jackson, M.L. 1976. Análisis químico de suelos. Ediciones Omega, S.A. Barcelona, España. 662 p.

Madrigal S., X. 1967. Contribución al conocimiento de la ecología de los bosques de oyamel (*Abies religiosa* (HBK) Schl. & Cham.) en el Valle de México. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales. Bol. Téc. Nº 18. 94 p..

Madrigal S., X. 1976. Instructivo para el estudio fitoecológico del Eje Neovolcánico. Bol. Div. Inst. Nal. Invest. For. Nº 45. México. 29 p.

Manzanilla B., H. 1974. Investigaciones epidométricas y silvícolas en bosques mexicanos de *Abies religiosa*. INIF/Banco de México. México. 165 p.

Martínez, M. 1953. "Las pináceas mexicanas". SAG. pp. 98-109.

Miller, P.R. 1973. "Oxidant-induced community change in a mixed conifer forest". In: Air pollution damage to vegetation. Am. Chem. Serv. 122: 101-117.

Moguel Flores, A. 1991. "Areas protegidas". SARH.SFF. México. pp. 26-31.

Moncayo R., F. 1981. "Relación de algunas cosas de los montes de México, un ensayo histórico del asunto forestal". SFF/UAT. Serie: Premio Nacional Forestal. p. 33.

Munsell. 1975. Cartas de color del suelo. Color Munsell Macbeth. Kollmorgen Co. Baltimore. Maryland.

Nieto de Pascual P., C. 1986. "Síntomas de deterioro del arbolado en la Sierra del Ajusco". INIREB. Xalapa. Ver. Biótica. Vol. 11 (1): 25-44.

Nieto de Pascual P., C. 1987. Análisis estructural de las comunidades forestales de la Sierra del Ajusco. México. Tesis de Maestría en Ciencias (Biologia). Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Ciencias. México. 86 p.

Nieto de Pascual P., C.; Boyas D., J.C. y Fernández G., M. T. E. 1994. «Estudio ecológico de una población de *Abies religiosa* [HBK] Schl. & Cham. en el Desierto de los Leones. México. D.F. CENID-COMEF (en preparación).

Obieta. M. C. y Sarukhán K., J. Estructura y composición de la vegetación herbácea de un bosque uniespecífico de *Pinus hartwegii*. *In:* Estructura y composición florística. Bol. Soc. Bot. Méx. No. 41: 75-126.

Perrusquia O., J. 1982. Contribución al conocimiento de los áfidos forestales del género *Cinara* en parte del Eje Neovolcánico (Distrito Federal. México y Michoacán). Bol. Tec. Inst. Nal. Invest. For. 78. 42 p.

Reyes C., R., J. Soto S., y J. Ma. Castro S. 1980. Guía para el muestreo de suelos forestales. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales. Nota técnica No. 10. México. 15 p.

Romero C., J. 1986. Estudio de reconocimiento de los suelos forestales del Parque Cultural y Recreativo Desierto de los Leones. Tesis Profesional. Escuela Nacional de Estudios Profesionales-Zaragoza. UNAM. 78 p.

Rzedowski, J. 1978. "Vegetación de México". LIMUSA. México. pp. 302-310.

Rzedowski, J. y G.C. de Rzedowski. 1979. "Flora fanerogámica del Valle de México". Vol.I. CECSA. pp. 47-48.

Secretaría de Agricultura y Ganadería. 1970. "Código Forestal". Subsecretaria Forestal. México. p. 12.

Shimada M., K. 1972. Estudio de algunos perfiles de suelos derivados de cenizas volcánicas y de ando del Ajusco. Tesis. Facultad de Ciencias. UNAM. México. 45 p.

Skelly, J.M.; Davis, D.D.; Merril, W.; Cameron, E.A.; Brown, H.D. Drummond, D.B. *and* Dochinger, L.S. 1992. "Diagnosing injury in Eastern forest trees". USDA Forest Service. pp. 1-19.

Vázquez S., J. 1987. El saneamiento y la limpia forestales en el Desierto de los Leones, sus fundamentos. Comisión Coordinadora de Desarrollo Rural/DDF. México. 24 p.

Vela G., L., Hernández R., A. y Boyás D., J.C. 1982. Instructivo para la colecta de material botánico. Bol. Div. Inst. Nal. Invest. For. No. 49. México. 27 p.

UNA CONTRIBUCIÓN AL CONOCIMIENTO DE LOS SAUCES EN MÉXICO

Avelino B. Villa Salas*
Maria de los Angeles Alonso Romero**

RESUMEN

Se presenta información que permite conocer diferentes espectos de los sauces, árboles o arbustos que en forma natural tienen una amplia distribución en el mundo, encontrándose sus distintas especies en zonas boreales, en bosques caducifolios templados y fríos, en bosques de coniferas, en bosques de pino y/o encino, en bosques mesófilos de montaña, en distintos tipos de selvas, aunque con mayor frecuencia forman parte de la vegetación ribereña.

Algunos sauces se han usado para establecer plantaciones en gran escala a lo largo del valle del Danubio en Europa y en el delta del Paraná en Argentina.

En México, los sauces se encuentran prácticamente en todo el territorio del país, con excepción de los estados de Campeche, Quintana Roo, Tabasco y Yucatán, en donde aún no se ha detectado su presencia.

La facilidad de su reproducción asexual permite multiplicar ejemplares de clones con características deseables en lapsos breves.

En México, desde la época prehispánica se les ha utilizado de diferente manera: su corteza para hacer infusiones con fines medicinales, sus ramillas en la elaboración de canastas y otras artesanías, su corteza y hojas como forraje cuando escasea el alimento para el ganado y como protector de áreas agrícolas que pueden estar sujetas a degradación por erosión eólica o hídrica.

* Ingeniero Agrónomo Forestal, Investigador Titular, CENID-COMEF, INIFAP, SAGDR.
** Ingeniero Agrónomo, Supervisora del Proyecto de Reforestación Urbana BID-COCODER.

Las caracteristicas de su madera. las sustancias quimicas que se pueden extraer de su corteza. su capacidad para fijar suelo con sus raices. su valor estético y su uso forrajero. permiten establecer que los sauces tienen un importante potencial económico y ecológico.

Palabras clave: Sauces. *Salix*. restauración forestal. ecosistemas ribereños.

ABSTRACT

Information related to different aspects of willows is presented. This trees and shurbs are widely distributed in the world. the willows species may be found in boreal areas. in cold and temperate broadleaf forests. in coniferous forests. in pine and/or oak forests. in mountain wet forests. in different types of tropical forests. but are most frecuently along the riparian areas.

Some willows are used in great scale plantations along the Danube Valley in Europe and over the Parana Delta in Argentine.

In Mexico. willows are found almost all over the country. with exception in the States of Campeche. Quintana Roo. Tabasco and Yucatan where no samples has been found yet.

The easy asexual reproduction. allow to produce new trees form clones with desirable characteristics in short periods of time.

In Mexico since prehispanic times. willows have been used in different ways: its bark to prepare infusions with medical purposes. its small branches to manufacture baskets and other hand-crafts. its bark and leaves as forage when there is not enough pasture and as a soil supported in areas with erosion posibilities.

The willows wood characteristics. the chemicals obtained from its bark. its capacity to fixe soil with its roots and its use as forage. allow to set that willows have an important ecological and economic potential.

Key words: Willows. *Salix*. forest restoration. riparian ecosystems.

INTRODUCCIÓN

Los sauces son árboles o arbustos pertenecientes al género *Salix* L. que tienen una amplia distribución en el mundo. Según Rehder (1947)[1], este género se divide en varios subgéneros, 32 "series" y unas 300 especies, que se distribuyen principalmente en las regiones frías y templado-frías del hemisferio norte y algunas del hemisferio austral, ocupan frecuentemente zonas frescas o incluso inundables, a lo largo de ríos y torrentes; aún cuando son especies sociales, sólo en contados casos constituye bosques extensos.

Hosie (1990)[2], indica que el género *Salix* cuenta en el mundo con más de 250 especies, localizadas principalmente en el hemisferio norte, y que alrededor de 75 especies vegetan en Norteamérica, de las cuales la mayoría se encuentran en Canadá, a excepción de las zonas árticas. Pocos sauces en este país tienen características de árboles y en muchos lugares son tan sólo arbustos.

Para Norteamérica, Little (1976)[3], indica la presencia de 21 especies de sauces con una distribución muy amplia y condiciones ecológicas muy variadas, desde Alaska y Canadá a través de Estados Unidos de América, hasta México y aún Guatemala.

Según Harlow *et al.* (1978)[4], el género *Salix* comprende alrededor de 500 especies que tienen una distribución muy amplia en las regiones frías del Hemisferio Norte, aunque hay algunas especies tropicales en Indonesia; también se le encuentra en Sudáfrica y Sudamérica. Este autor indica a diferencia de otros, que algunas especies se encuentran más allá del Círculo Polar Ártico en los límites de la vegetación forestal en el norte, donde adquieren formas enanas, rastreras o de matas.

Las especies que vegetan en México, se distribuyen desde distintos lugares del noroeste, norte y noreste del país hasta el estado de Chiapas, encontrándose desde altitudes cercanas al nivel del mar hasta más de 3,000 m, tanto en zonas templadas y frías, como zonas tropicales y subtropicales, aunque en forma especial su distribución es más amplia a lo largo de ríos, arroyos y otros cuerpos de agua. Algunas de las especies tienen una distribución muy amplia y otras apenas se encuentran en pequeñas localidades.

---

[1] Rehder, A. 1947. Manual of cultivated trees and shrubs.
[2] Hosie, R. C. 1990. Native Trees of Canada.
[3] Little, E. L. 1976. Atlas of United States Trees. Volume 3. Minor Western Hardwoods.
[4] Harlow, W. M.; E. S. Harrar y F. M. White. 1978. Textbook of Dendrology, covering the important Forest Trees of the United State and Canada.

La gran variedad de condiciones climáticas donde se desarrollan las diferentes especies de *Salix* en forma natural y cultivada, los variados usos que se dan a su madera, corteza, ramas y ramillas, su facilidad de reproducción asexual y sus características de protector del suelo, permiten establecer que los sauces tienen un importante potencial económico y ecológico.

En algunos países de Europa, en Estados Unidos de América y Canadá en Norteamérica y Argentina en Sudamérica, se han realizado estudios sobre diferentes especies de *Salix*, habiéndose establecido tanto plantaciones forestales comerciales, como de protección o restauración ecológica, y generado clones híbridos con características especialmente deseables.

En México, es necesario profundizar en el estudio de los sauces para propiciar un uso mucho más amplio de aquellas especies que puedan resultar de interés en los siguientes aspectos: 1) Producción de madera; 2) Producción de diversas substancias químicas (extraídas de su corteza y hojas); 3) Manufactura de artesanías (cestería, zuecos, etc.); 4) Restauración del habitat ribereño en grandes superficies del país que han sido degradadas; 5) Protección de suelos en áreas agrícolas (evitando o reduciendo las erosiones eólica e hídrica), 6) Establecimiento de plantaciones ornamentales en programas de Dasonomía Urbana y a lo largo de caminos, canales, etc.; 7) Producción forrajera; y 8) Producción de miel.

En este artículo, se presentan resultados de trabajos de revisión bibliográfica y de herbario realizados por los autores, quienes esperan que esta contribución sirva de apoyo a estudios de más detalle sobre las especies más prometedoras de este género.

CARACTERÍSTICAS DE LOS SAUCES

El término latinizado *Salix*, con que se denomina al género que comprende los sauces, proviene de las raíces celtas *sal* = cerca y *lis* = agua.

En la antigüedad, los sauces en las Islas Británicas eran conocidos como *salls*, por lo que algunos lugares cercanos a los sauzales llevan en su nombre el prefijo *sal* como es el caso de Salisbury, Salling (Condado de Kildare), Salperton (Gloucestershire) y

Sallahing (Condado de Kerry). Los sauces todavia son llamados *sallies* por los irlandeses (Wilks. 1972)[5].

Botánicas.

Las salicáceas son plantas leñosas dioicas. cuyas flores masculinas y femeninas están dispuestas en amentos. El ovario unilocular queda sobrepasado por dos o cuatro estigmas sésiles o portados por un estilo corto. El fruto es una cápsula que se abre por dos o más valvas. Las semillas son numerosas. muy pequeñas y están rodeadas de largos pelos llamados "algodón" en el momento de la dehiscencia (FAO. 1980)[6]

Las características generales de los sauces. de acuerdo con FAO (*op. cit.*) son las siguientes:

Hojas: Siempre alargadas. ovaladas. ovaladas-lanceoladas. lanceoladas-lineales: con peciolo corto y uniformes.

Yemas: Una sola escama cubre la yema: yema terminal inexistente o poco desarrollada.

Ramas: Cilíndricas; sección de la médula circular.

Floración: Antes o después de la foliación. Amentos erectos. Flores generalmente sin periantio. pero con uno o dos nectarios (polinización por insectos). Brácteas enteras vellosas. no caducas. Estambres poco numerosos. dos a ocho. anteras generalmente amarillas.

Madera: La madera de los sauces es generalmente blanco-rosada en la albura y pardo-rosada en el duramen.

Según Argus (1965)[7]. un experto en sauces con muchos años de experiencia en la identificación de colecciones de estas especies. menciona que la taxonomia del género *Salix* es extremadamente compleja.

La ubicación de los sauces dentro las fanerógamas es la siguiente (FAO. *op.cit.*):

[5] Wilks. J. H. 1972. Trees of British Isles in History & Levend.
[6] F. A. O. 1980. Los alamos y los sauces. en la producción de madera y la utilización de las tierras.
[7] Argus. G. W. 1965. The taxonomy of the *Salix glauca* complex in North America.

Género: *Salix*
Familia: *Salicaceae*
Orden: *Salicales*
Grupo: *Amentiflorae*
Subclase: *Monochlamydae*
Clase: *Dicotyledoneae*
Subdivisión: *Angiospermae*
División: *Phanerogamae*

Ecológicas y fisiológicas.

Los sauces en Canadá se encuentran principalmente en zonas pantanosas, ribereñas y a lo largo de otros tipos de cuerpos de agua (Hosie, *op. cit.*).

Rzedowski (1978)[8], al referirse a los géneros característicos de la flora de las zonas montañosas de México con afinidades holárticas, menciona los siguientes: *Abies, Alnus, Amelanchier, Cirsium, Claytona, Crataegus, Delphinium, Fraxinus, Heuchera, Juniperus, Pedicularis, Philladelphus, Pinus, Platanus, Populus, Pyrola, Quercus* y ***Salix***; los cuales se encuentran también en Estados Unidos de América y casi todos ellos en Eurasia. Estos géneros en su gran mayoria alcanzan su límite meridional en Centroamérica, con excepción de *Quercus, Alnus* y ***Salix***. Es significativo que algunos árboles de afinidades boreales, como algunas especies de los géneros *Platanus, Populus,* ***Salix*** y *Taxodium*, desciendan con frecuencia a lo largo de las corrientes de agua hasta altitudes cercanas al nivel del mar.

Los bosque de encino en México, se pueden presentar como bosques puros o dominados por una o varias especies de *Quercus*; aunque más frecuentemente admiten la presencia de árboles y arbustos de otros géneros como *Alnus, Buddleia, Fraxinus, Garrya, Platanus, Populus, Prunus* y ***Salix***, a lo largo de arroyos, fondos de cañadas o en habitat similares. En los bosques de coníferas y en los de pino en particular, diferentes especies del género *Salix* forman parte del estrato arbustivo o del estrato arbóreo inferior (Rzedowski, *op. cit.*).

Diferentes especies de sauces conforman las agrupaciones vegetales de los bosques de galeria en México, los cuales se desarrollan a lo largo de corrientes de agua más o menos permanentes; este tipo de bosque es muy heterógéneo, ya que tiene alturas de 4 a más de 40 metros y está formado por árboles perennes, deciduos y subdeciduos (Rzedowski, *op. cit.*).

[8] Rzedowski, J. 1978. Vegetacion de Mexico.

Los requerimientos de luz, oxígeno, agua y elementos minerales de los sauces son los siguientes (FAO, *op. cit.*):

Necesidades de luz.- Los sauces bajo cultivo, especialmente se clasifican entre las especies de luz o especies heliófilas, se desarrollan corrientemente a campo abierto y se comportan como especies pioneras que ocupan los espacios vacíos. Su actividad fotosintética es intensa. Los sauces son a menudo las primeras especies leñosas que colonizan naturalmente los aterramientos provocados por las crecidas en los valles de los grandes ríos.

Necesidades de oxígeno.- Ciertas especies de sauces pueden sobrevivir con sus raíces sumergidas en agua totalmente desprovista de oxígeno disuelto. Estos sauces son capaces de transportar el oxígeno del aire captado por las hojas hasta las raíces, a fin de asegurar su respiración.

Necesidades hídricas.- Los sauces son muy exigentes en agua; son especies higrófilas.

Necesidades en elementos minerales.- Los elementos básicos más requeridos por los sauces son el nitrógeno, el fósforo y ciertos cationes metálicos, como el potasio y el calcio, que forman parte más o menos importante en la constitución de la materia viva, y los oligoelementos, como el cobre, hierro y boro, que son indispensables para la vida, pero siempre en cantidades pequeñas.

Forestales.

Los sauces son árboles o arbustos pertenecientes al género *Salix* y a la familia de las Salicáceas, tienen ciertas particularidades que, si bien los aproximan a un buen número de plantas cultivadas, les dan un carácter original en relación con otros árboles productores de madera. Ello es consecuencia de los tres hechos que se mencionan enseguida (FAO, *op. cit.*):

1) Las salicáceas se propagan esencialmente por vía vegetativa y no por semillas.

2) Las salicáceas son dioicas, y

3) La hibridación es frecuente entre árboles de tipos diferentes.

Las salicáceas cultivadas se multiplican corrientemente por estacas, lo que permite obtener un número infinito de árboles exactamente con los mismos caracteres, a partir de un individuo que presente características y rendimiento interesantes.
Sólo en un número reducido de países los sauces tienen cierta importancia. El objeto de su cultivo es suministrar, a corto plazo maderas blandas, claras y ligeras.

Los sauces procedentes de estacas florecen aproximadamente a los trece meses, con algunas excepciones, a principio de su segundo periodo vegetativo, después del reposo invernal. Este comportamiento excepcional permite concebir programas de mejoras susceptibles de desarrollarse más rapidamente que con las otras especies forestales que fructifican más tarde.

En la mayor parte de los casos, las salicáceas se cultivan con miras a la producción de pértigas o de trozas para aserrío y para la producción de chapa desenrollada. Sólo en época relativamente reciente han comenzado las experiencias para cultivarlas con vistas a la producción de madera para material celulósico, por la demanda que esta materia prima tiene en los paises industrializados (FAO, *op. cit.*).

Las exigencias ecológicas de las salicáceas se satisfacen generalmente en los terrenos de los valles donde estas especies tienen su habitat natural, estableciéndose mejor en las partes más bajas de los valles, a menudo inundables y donde la capa freática es constantemente superficial, pero en movimiento y bien aireada (FAO, *op. cit.*).

El cultivo de los sauces se extiende mucho en Europa, en el Valle del Danubio y en América del Sur, en el Delta del Paraná.

Sanitarias.

De acuerdo con FAO (*op. cit.*), los sauces, como todos los demás vegetales leñosos, pueden ser afectados por condiciones climáticas adversas o por plagas y enfermedades que resultan al generarse condiciones desfavorables (permanentes o accidentales) en el medio que las rodea, las cuales perturban su funcionamiento normal.

Daños de origen climático.- El frío interviene como factor limitante y determina áreas geográficas naturales de las diversas especies; los fríos accidentales pueden ser la causa de daños importantes. Las heladas tardías que se producen en primavera, cuando ocurren antes del brote de las yemas, sólo provocan daños insignificantes o nulos, ya que las yemas constituyen formas de resistencia eficaz al frío en las especies frondosas

caducas; si éstas, se producen después de la brotación, las hojas y ramillas jóvenes quedarán seriamente dañadas e incluso destruidas.

Daños de origen químico.- En este caso se debe subrayar la gran sensibilidad de los sauces a las contaminaciones atmosféricas o edáficas; cuando la contaminación es grave, las ramillas jóvenes pueden necrosarse y el árbol afectado puede morir.

Enfermedades causadas por organismos vivos.- Numerosos hongos, bacterias, virus e incluso vegetales superiores, son agentes que provocan daños a las hojas, ramas, troncos y aún a las raíces de los sauces.

En Europa se han desarrollado técnicas para el combate de las distintas plagas y enfermedades, basadas en la aplicación de distintos tipos de pesticidas.

Vertebrados.- Varios vertebrados causan daños en los sauces, al alimentarse total o parcialmente de las hojas o de la corteza del tallo, de las ramas o de las raíces.

En México se cuenta con un número muy escaso de estudios relacionados con los aspectos sanitarios de los sauces; es quizá, el gusano de bolsa (*Malacosoma incurvum* var. *aztecum* Neumogen) la plaga que mas afecta a los sauces de la Cuenca de México, particularmente al ahuejote (*Salix bonplandiana*), las larvas de este insecto causan su defoliación, convirtiéndose en una verdadera plaga que en los últimos diez años ha preocupado a las autoridades sanitarias forestales en el Distrito Federal, quienes han emprendido importantes campañas para su combate (Quintero y Villa-Salas, 1991[9]; Otto, 1993[10]).

Este gusano de bolsa, además de atacar al ahuejote, causa daños a otras especies de sauces y a algunas del género *Prunus*. Aunque en mucho menor escala, se ha encontrado que dos insectos hemípteros, el *Stenomarca marginella* y el *Zelurus* sp., causan algunos daños a los ahuejotes en la región chinampera del Distrito Federal (Quintero y Villa Salas, *op. cit.*).

Otros insectos que afectan a los sauces causan daños de importancia media son el lepidóptero *Hylaca punctillaria* (Schaus), defoliador de *Salix bonpladiana* y *S.*

[9] Quintero de Anda, R. y A. B. Villa-Salas.-1991. Evaluación dasométrica, fenológica y sanitaria del ahuejote (*Salix bonplandiana* HBK), en el área chinampera de Xochimilco, D. F. pp. 39-67.
[10] Otto, E. S. 1993. El Ahuejote.

mexicana; así como los ácaros del género *Aculops* que tienen como hospederas a las mismas especies de sauces (Cibrián *et al.*, 1995)[11]

LOS SAUCES EN EL MUNDO

Aunque este artículo pretende ser una aportación al conocimiento de los sauces en México, se presenta un marco general sobre diferentes especies del género *Salix* en el mundo, con especial referencia a las de Norteamérica, particularmente en lo que se refiere a su distribución.

Los sauces se clasifican en dos grandes grupos, los euroasiáticos y los americanos (FAO, *op.cit.*).

Las especies de sauces euroasiáticos más comunes son las siguientes:

- *Salix alba* L. (sauce blanco)
- *S. alba* var. *vitellina* Stokes
- *S. alba* var. *coerulea* Sm.
- *S. alba* var. *tristis* Ser.
- *S. caprea* L.
- *S. daphnoides* Vill.
- *S. fragilis* L.
- *S. incana* Schrank
- *S. jessoensis* Seemen
- *S. koreensis* Anderss.
- *S. matsudana* Koidz
- *S. wallichiana* Anderss.

Mientras que los sauces americanos más comunes son:

- *Salix amygdaloides* Anderss.
- *S. humboldtiana* Willd.
- *S. lasiandra* Benth.
- *S. nigra* Marsh
- *S. pentandra* L.
- *S. sitchensis* Bong

[11] Cibrian T., D.; J. T. Méndez; R. Campos B.; H. O. Yates III y J. Flores L. 1995. Insectos forestales de México.

Sin embargo, la descripción más amplia de los sauces americanos, particularmente los de Norteámerica, la hace Little (*op. cit.*), quien en forma gráfica muestra la distribución de las diferentes especies de sauces que se distribuyen desde Alaska y Canadá hasta México e incluso Guatemala, mostrando con particular detalle la localización de las que se desarrollan en Estados Unidos de América; las 21 especies que menciona este autor son las siguientes:

1) El *Salix alaxensis* (Anderss.) Cob. (feltleaf willow) se encuentra en gran parte de Alaska y en pequeñas partes de los territorios de Yukón y del noroeste de Canadá; 2) el *S. arbusculoides* Anderss. (peachleaf willow) se distribuye de una manera amplia en Alaska y el noroeste de Canadá; 3) el *S. bebbiana* Sarg. (bebb willow), se localiza ampliamente en Alaska y Canadá, con excepción de las regiones cercanas al círculo polar ártico, además se encuentran pequeñas áreas cubiertas por esta especie en otras localidades estados de Estados Unidos de América, en la parte norte de las Montañas Rocallosas.

4) El *S. bonplandiana* (bonplan willow), se distribuye en el noreste de Arizona y una pequeña parte en el suroeste de Nuevo México; 5) el *S. discolor* Muhl. (pussy willow), se localiza en la mayor parte del sur de Canadá, alrededor de la región de los grandes lagos y en el noreste de Estados Unidos de América, 6) el *S. exigua* (coyote willow), tiene una amplia distribución en el oeste de Estados Unidos de América, desde la frontera de Canadá hasta la de México, en Alaska y el centro-sur de Canadá tiene una localización ribereña muy importante.

7) El *S. fluviatilis* Nutt. (river willow), tiene una distribucion restringida al suroeste del estado de Washington y noroeste de Oregón; 8) el *S. geyeriana* Anderss. (geyer willow), se encuentra en el oeste de Estados Unidos de América, con mayor frecuencia en los estados de Idaho, Montana, Wyoming y Colorado; 9) el *S. hindsiana* Benth. (hinds willow) que se localiza únicamente en California y en el suroeste de Oregón.

10) El *S. hookeriana* Barrat. (hooker willow), se encuentra únicamente en la región costera del noroeste de California, Oregón, Washington y sureste de Alaska; en Canadá se localiza en regiones costeras del suroeste de Columbia Británica; 11) el *S. lasiandra* Benth. (pacific willow), se localiza en la parte centro-oeste de Alaska, en el oeste de Canadá y en el noroeste de Estados Unidos de América, aunque existen pequeñas áreas en los estados de Colorado, Wyoming, Utah, Arizona y Nuevo México; 12) el *S. lasiolepis* (arroyo willow) se encuentra en el oeste de Estados Unidos de América, con su distribución más amplia en California.

13) El *S. mackenzieana* (Hook) Barratt. (mackenzie willow). se localiza en las partes altas del oeste de Canadá y el noroeste de Estados Unidos de América. además se presenta en las partes altas del norte de California; 14) el *S. laevigata* Bebb. (red willow). se encuentra principalmente en las partes altas y en la región costera de California. así como en pequeñas áreas de Utah. Nevada y Arizona; 15) el *S. nigra* (black willow). se distribuye en la mayor parte de la mitad oriental de Estados Unidos con excepción de la peninsula de Florida y en importantes áreas en los estados de California y Arizona.

16) El *S. petiolaris* J.E.Sm. (meadow willow). se localiza en Canadá y en las partes norte-centro y noreste de Estados Unidos de América principalmente; 17) el *S. scouleriana* Barratt (scouler willow). se encuentra en el oeste de Canadá. el sureste de Alaska y el noroeste de Estados Unidos de América. también se menciona la presencia de pequeñas áreas en todos los estados del oeste de Estados Unidos de América; 18) el *S. sessilifolia* Nutt. (northwest willow). se distribuye en Oregón. Washington y en el extremo suroeste de Columbia Británica.

19) El *S. tracyi* Ball. (tracy willow) se localiza en pequeñas áreas de los extremos noroeste de California y suroeste de Oregón; 20) el *S. sitchensis* Sanson (sitka willow). se encuentra a lo largo de la costa noroeste de América del Norte. desde Alaska hasta la parte media de California; y 21) el *S. taxifolia* (yewleaf willow). se distribuye en pequeñas partes de Nuevo México. el sureste de Arizona y el suroeste de Texas.

Curiosamente Griffin y Critchfield (1972)[12]. en su trabajo "The distribution of forest trees in California" no mencionan la presencia de sauces en este estado. aunque si presentan la distribución de cuatro especies de álamos (*Populus* spp.).

Por otro lado. Viereck y Little (1972)[13] mencionan la presencia de 30 sauces en el estado de Alaska. la mayor parte de ellos son especies arbustivas (erectas o rastreras). y sólo algunas pueden ser de acuerdo con el lugar donde se encuentren. árboles pequeños. Estas especies se enlistan enseguida:

1) *Salix alaxensis* (Anderss.) Cob. (feltleaf willow); 2) *S. arbusculoides* Anderss. (little tree willow); 3) *S. arctica* Pall. (arctic willow); 4) *S. barclayi* Anderss. (barclay willow); 5) *S. barrattiana* Hook.(barratt willow); 6) *S. bebbiana* Sarg. (bebb willow); 7) *S. brachycarpa* Nut.ssp. *niphoclada* (Rydb.) Argus. (barren-ground willow); 8) *S. candida* Fluegge (silver willow); 9) *S. commutata* Bebb (undergreen willow); 10) *S. chamissonis* Anderss. (chamisso willow).

[12] Griffin. J. R. y W. B. Critchfield. 1972. The distribution of forest trees in California.
[13] Viereck. L. A. y E. L. Little.1972. Alaska Trees and Shurbs.

11) *S. fuscescens* Anderss. (alaska bog willow); 12) *S. glauca* L. (grayleaf willow); 13) *S. hastata* L. (halberdwillow); 14) *S. hookeriana* Barrat (hooker willow); 15) *S.interior* Rowlee (sandbar willow); 16) *S. lanata* L. ssp. *richardsonii* (Hook.) A. Skwortz. (richardson willow); 17) *S. lasiandra* Benth. (pacific willow); 18) *S. monticola* Bebb (park willow); 19) *S. myrtillifolia* Anderss. (low blueberry willow); 20) *S. novaeangliae* Anderss. (tall blueberry willow).

21) *S. ovalifolia* Trautv. (ovaleaf willow); 22) *S. phlebophylla* Anderss. (skeletonleaf willow); 23) *S. planifolia* Pursh ssp. (Chamb.) Argus (diamond leaf willow); 24) *S. polaris* Wahlemb ssp. *pseudopolaris* (Flod.) Hult. (polarwillow); 25) *S. reticulata* L. (netleaf willow); 26) *S. rotundifolia* Trautv. (least willow); 27) *S. scouleriana* Barrat (scouler willow); 28) *S. setchelliana* Ball (setchell willow); 29) *S. sitchensis* Sanson (sitka willow); y 30) *S. stolonifera* Cor. (ovaleaf willow).

Hosie (op. cit.), menciona que de las 75 especies de sauces nativos de Canadá, los ocho siguientes son las más comunes:

1) El *Salix amygdaloides* Anderss (peachleaf willow) es posiblemente el sauce nativo de Canadá más grande, se localiza en las provincias de Manitoba y Ontario donde alcanza alturas hasta de 12.5 metros, en el resto del país es tan sólo un arbusto; 2) el *S. bebbiana* Sarg. (bebb o beaked willow), es probablemente el sauce arbóreo más común, ya que se encuentra prácticamente en todo Canadá, excepto en las regiones árticas; 3) el *S. discolor* Mühl. (pussy willow), es un árbol pequeño que vegeta en bosquetes desde la provincia de Alberta hacia el este, hasta la provincia de Newfoundland.

4) El *S. hookeriana* Barratt (hooker willow), es un árbol pequeño que se localiza en la isla de Vancouver, costas adyacentes y hacia el sur; alcanza alturas de 3 metros y diámetros hasta de 30 centímetros; 5) el *S. lasiandra* Benth.(pacific willow), es un árbol pequeño que se distribuye desde la provincia de Alberta hasta la costa del Pacífico; 6) el *S. lucida* Mühl. (shining willow), es un árbol pequeño que se encuentra desde la parte central de la provincia de Saskatchewan hacia el este hasta la provincia de Newfoundland.

7) El *S. nigra* Marsh. (black willow), es un sauce que se desarrolla en los terrenos húmedos en los bosques de la provincia de Ontario y del este hasta la costa atlántica, siendo el sauce más común en Canadá, algunos autores lo consideran el sauce más grande de Norteámerica; y 8) el *S. scouleriana* Barratt (scouler willow), es un árbol pequeño que vegeta en la sierra de la provincia de Saskatchewan hacia la provincia de Columbia Británica, alcanza alturas de 10 metros.

Este mismo autor. indica que los sauces europeos introducidos a Canadá más frecuentes. son el *Salix alba* var. *vitellina* L. (golden willow). el *S. babylonica* L. (weeping willow). el *S. fragilis* L. (crack willow) y el *S. pentandra* L. (bay leaf willow).

White (1977)[14] al describir los sauces nativos introducidos de la provincia de Ontario. Canadá. coincide en gran medida con lo expuesto por Hosie (*op. cit.*). en cuanto a la distribución de las diferentes especies del género *Salix*.

Ceballos y Ortuño (1976)[15]. mencionan la presencia de sauces en un lugar tan aislado como las Islas Canarias. como el *Salix canariensis* Chr. Sm. (sauce canario). que se localiza en cauces y proximidades de corrientes de agua. gargantas húmedas. manantiales y canales de riego. es también frecuente en zonas de bruma y en la parte superior de la región litoral. aunque su presencia está más supeditada a la abundancia de humedad que a la altitud. Además de encontrarse en las Islas Canarias (Tenerife. Palma y Gomera). se encuentra en la isla Madeira y en Marruecos. Otra especie que se encuentra en la isla de Tenerife y en las Islas Cabo Verde. es el *S. fragilis* L. (sauce).

Carnevale (1955)[16] menciona que en el noroeste de Argentina se han introducido sauces. siendo relevante el *Salix alba* var. *calva* (sauce-alamo). del cual existen plantaciones en gran escala en el Delta del Paraná. y en pequeña escala en otras partes del país: el *S. humboldtiana* (sauce colorado. sauce criollo o sauce común). es un árbol que se encuentra distribuido ampliamente en Argentina en forma silvestre o cultivado: el *S. babylonica* (sauce llorón). se encuentra muy difundido en Argentina. siendo originario de China: el *S. caprea* Linn. (mimbre japonés). es un arbusto originario de Europa y Asia que se destaca en la Patagonia por su excelente comportamiento. ya que es resistente a la sequía. al viento y a las bajas temperaturas. se le utiliza para restaurar áreas degradadas de esa región.

LOS SAUCES EN MÉXICO

Entre los autores que se han referido en sus trabajos a los sauces de México. describiendo sus características botánicas, su distribución geográfica, su localización ecológica o sus usos. se encuentran los siguientes:

[14] White, J. H. 1977. The Forest Trees of Ontario and the more commonly planted foreing trees.
[15] Ceballos, F. C. y F. Ortuño M. 1976. Estudio sobre la vegetación y la flora forestal de las Canarias Occidentales.
[16] Carnevale, J. A. 1955. Árboles forestales, descripción, cultivo y utilización

Standley (1924)[17] en su ya clásica obra "Trees and Shrubs of Mexico", indica que los sauces en México se localizan en casi todo el país, generalmente a las orillas de los cuerpos de agua y que frecuentemente se le planta como árbol de sombra; en esta misma obra se presenta una clave de identificación para este género en México. Las características y distribución de las especies citadas en esta obra, se mencionan enseguida:

1) El *Salix bonplandiana* HBK (sauce o ahuejote), es un árbol pequeño o grande, que algunas veces alcanza 12 metros de altura o más, con un diámetro normal (DAP) de 40 cm, el cual se encuentra prácticamente en todo México; 2) el *S. cana* Mart. *et* Gal., es un árbol que se encuentra en el Pico de Orizaba, estado de Veracruz; 3) el *S. exigua* Nutt., es un arbusto de 2 a 4 metros de altura y algunas veces alcanza las dimensiones y forma de un árbol de 7 metros de altura, se localiza del estado de Chihuahua al de Baja California; 4) el *S. gooddingii* Ball (sauz), es un arbusto o árbol que algunas veces alcanza 12 metros de altura, tiene corteza rugosa negra u obscura, se le encuentra del estado de Chihuahua al de Baja California y en el estado de Sinaloa.

5) El *S. hartwegii* Beth. es un sauce que se encuentra en los estados de México y Michoacán; 6) el *S. humboldtiana* Willd. es un árbol pequeño, algunas veces de 10 metros de altura, con un diámetro normal (DAP) de 15 a 30 cm, que se distribuye en los estados de Colima, Chiapas y Veracruz, mencionándose también su presencia en Centroámerica y Sudámerica; 7) el *S. jaliscana* Jones es un arbusto o árbol pequeño localizado en los estados de Michoacán y Jalisco; 8) *S. lasiolepis* Benth. es un árbol o arbusto de 3.5 a 9 metros de altura, alcanzando en ocasiones 16 metros, se encuentra desde los estados de Coahuila y Chihuahua al de Baja California.

9) El *S. mexicana* Seemen. es un arbusto de 3 a 4.5 metros de alto, que se encuentra en los Estados de México, Hidalgo y Puebla; 10) el *S. nigra* Marsh. algunas veces es un árbol que alcanza 20 o incluso 40 metros de altura, con un diámetro normal (DAP) hasta de 100 cm (se han puesto en duda estas dimensiones tan grandes), aunque generalmente es más pequeño, este sauce se localiza desde el estado de Coahuila hasta el de Tamaulipas y en los estados de Sinaloa y Nayarit; 11) el *S. oxilepis* C. Shneid. es un sauce que se encuentra en los estados de Puebla y Veracruz; 12) el *S. paradoxa* HBK es un árbol pequeño o arbusto hasta de 6.5 metros de altura que se encuentra desde el estado de Hidalgo al de Oaxaca.

13) El *S. rowleei* C. Schneid., es un árbol o arbusto que algunas veces alcanza 6 metros de altura, se encuentra en el Estado de México; 14) el *S. schaffnerii* C. Schneid., es un sauce que se localiza en los estados de San Luis Potosí y Veracruz; 15) el *S. taxifolia*

[17] Standley, P. C. 1924. Trees and Shrubs of México. Contributions from the United States National Herbarium. pp. 160-163.

HBK es un arbusto o árbol que algunas veces alcanza 18 metros de altura y un diámetro normal de 50 cm, que se distribuye ampliamente en México; 16) el *S. thurberi* Rowleees un árbol de tamaño medio que se localiza en los estados de Coahuila y Nuevo León y posiblemente en el de Durango; y 17) el *S. wrightii* Anderss. es un arbusto o árbol pequeño que se encuentra en el norte del estado de Chihuahua.

Reiche (1926)[18], menciona la presencia de dos sauces en lo que entonces él denominó el Valle Central de México, el ahuejote o huejocote (*Salix bonplandiana*) a lo largo de los canales de Xochimílco y el sauce (*S. lasiolepis*) en el "desierto", refiriéndose al Desierto de los Leones, Distrito Federal.

Rzedowski y McVaugh (1966)[19], en su obra la Vegetación de Nueva Galicia mencionan la presencia de los siguientes sauces en esta región:

1) El *Salix bomplandiana* se encuentra en la mitad sur occidental de Jalisco y zonas adyacentes de Nayarit, Colima y Michoacán, localizado en barrancas, cañones y sitios protegidos, dentro del bosque de pino-encino hacia las orillas de los arroyos, en el bosque mesófilo de montaña, en altitudes entre 80 y 2,400 msnm, forma parte de la vegetación acuática y subacuática de la región, formando en las partes más elevadas bosquecillos con *S. chilensis*.

2) El *S. chilensis* se encuentra entre los restos del bosque tropical subdeciduo sobre suelos profundos, a las orillas de los arroyos del bosque de pino-encino con alguna frecuencia, a veces convive en la parte periférica de los manglares.

3) El *S. oxilepis* se localiza en el bosque de oyamel en forma de arbusto; y

4) El *S. taxifolia* se encuentra en la vegetación semi-acuática y acuática, en donde ocupa un nicho ecológico muy específico.

Pennington y Sarukhan (1968)[20], mencionan la presencia del *Salix chilensis* (sauce o sauz) en una región muy amplia del país, tanto en la vertiente del Golfo de México desde el sur de Nuevo León hasta Tabasco, Campeche y Chiapas, en altitudes que van desde muy cerca del nivel del mar hasta los 2,500 msnm, como en la vertiente del Océano Pacífico desde el sur de Durango hasta Oaxaca, con la misma variación altitudinal.

---

[18] Reiche, C. 1926. Flora exploratoria en el Valle central de México.
[19] Rzedowski, J. y R. McVaugh. 1966. La vegetación de Nueva Galicia. pp. 1-123.
[20] Pennington, T. D. y J. Sarukhan. 1968. Manual para la identificación de los principales árboles tropicales de México.

Esta especie preferentemente habita en las riberas de los ríos y zonas inundables, llegando a formar bosques en zonas de terrenos aluviales muy recientes, sujetos aún a la inundación periódica por la avenida de los ríos, como sucede entre Coatzacoalcos, Veracruz y Villahermosa, Tabasco. Mencionan también que estos árboles alcanzan hasta 15 metros de altura y 40 centímetros de diámetro normal (DAP).

Sánchez (1968)[21], señala que la familia *Salicaceae* (salicáceas) comprende dos géneros (*Populus* y *Salix*) y unas 350 especies, muchas de ellas cultivadas. Para lo que el autor denomina Valle de México menciona las siguientes cinco especies del género *Salix*:

1) El *Salix babylonica* L. (sauce llorón), es un árbol común a la orilla de los estanques o corrientes de agua. Tiene ramas colgantes; hojas largamente lanceoladas o linear-lanceoladas, con el ápice agudo, la base roma y el borde finamente aserrado, miden de 10 a 14 cm de largo por 1 a 1.8 cm de ancho, la cara superior es brillante, la inferior es opaca y glauca. Amentos masculinos de 4 a 5 cm de largo, con las brácteas obtusas y densamente vellosas. Amentos femeninos de unos 4 cm, con los ovarios lisos, lampiños, cónicos y brácteas agudas y membranosas.

2) El *Salix bonplandiana* HBK (ahuejote, huejote o sauce), es un árbol que mide 12 o más metros de altura y el tronco llega a medir entre 35 y 40 cm de diámetro normal (DAP). Tiene ramas abundantes, ascendentes, lampiñas, cafés o pardo-rojizas. Hojas lanceoladas o linear-lanceoladas, agudas en el ápice, de borde finamente aserrado, miden de 12 a 15 cm de largo por 1 a 2 cm de ancho, estípulas caedizas. Amentos masculinos de 4 a 6 cm de largo; brácteas glabras o algo pilosas, aovadas y obtusas; 3 estambres con la mitad inferior pilosa. Amentos femeninos con las brácteas aovadas, esparcidamente pilosas o glabras; ovario cortamente pedicelado, alargado en forma de botella, con el estigma muy corto. Es árbol frecuente en las localidades húmedas del país, abunda en Xochimilco y Mixquic, Distrito Federal, dando al paisaje un toque inconfundible.

3) El *Salix cana* Mart. *et* Gal. (sauce), es un árbol de tronco oscuro, negruzco, con las hojas estrechamente oblanceoladas u obovadas, cortamente pecioladas, de ápice obtuso, base cuneada y borde levemente aserrado, con los dientes muy distantes entre sí y apenas visibles; la cara superior verde con las nervaduras tomentosas, la inferior con nervaduras prominentes y pilosa; miden de 2 a 5 cm de largo por 1 6 2 cm de ancho. Amentos de 1 cm de largo, los femeninos de unos 3 cm. Ovarios largos, estipitados, con la superficie pilosa y el estigma corto. 2 estambres pilosos en la base. Brácteas

[21] Sánchez S., O. 1968. La flora del Valle de México.

agudas. lanceoladas y pilosas. Se localiza en los parajes La Venta y San Miguel. en el Desierto de los Leones. Distrito Federal.

4) El *Salix lasiolepis* Benth. (sauce o ahuejote). es un árbol o arbusto de 4 a 9 metros de altura. con el tronco delgado de color café-rojizo. Hojas largamente lanceoladas. estrechamente elípticas u oblongo-lanceoladas. acuminadas. redondeadas en la base y finamente aserradas en el borde. pilosas en la cara superior. blanco-tomentosas en la inferior. miden de 6 a 10 cm de largo por 2 o 3.5 cm de ancho. Amentos masculinos de unos 12 mm de largo. Los femeninos de 2 a 2.5 cm de largo; ovarios glabros. con los estigmas cortos. brácteas obovadas. obtusas o truncadas. Se localiza en el Desierto de los Leones y en la Cañada de Contreras. Distrito Federal.

5) El *Salix paradoxa* HBK (gusanilllo). es un arbusto o árbol de unos 6.5 metros de altura. con las hojas oblongo-elípticas o elíptico-lanceoladas. con el ápice obtuso o levemente agudo. la base cuneada o redondeada. aserradas con los dientes separados y apenas visibles. cara superior verde y pubescente. la inferior blanquecina y felpuda. miden de 5 a 13 cm de largo. Amentos masculinos de 2.5 cm de largo o algo más; los filamentos de los estambres vellosos en la base. Amentos femeninos de unos 3 cm. ovarios vellosos con el estigma lanceolado. Brácteas oblongas. obtusas o subtruncadas. Se localiza en la Cañada de Contreras. Distrito Federal.

Miranda (1976)[22]. menciona la presencia del *Salix chilensis* (sauz. sauce o cueschcui) en el Estado de Chiapas. como un árbol hasta de 20 metros de alto. con las ramas alargadas; hojas alternas. medianas. linear-lanceoladas. finamente aserradas y puntiagudas; flores unisexuales. en espigas densas; frutos capsulares. alargados y pequeños; semillas con pelos algodonosos. Muy frecuente a lo largo de los rios y riachuelos en todas las tierras calientes y a veces en las templadas de este Estado. La madera es blanquecina. fibrosa y resistente.

Como ya se mencionó. Little (*op. cit.*). en su obra "Atlas of United States Trees. Volumen 3: Minor Western Hardwoods" presenta en forma gráfica la distribución de los diferentes sauces que se encuentran en Norteamérica. mostrando con particular detalle. la ubicacion de las especies que se desarrollan en Estados Unidos de América; en esta publicación se presenta en forma gráfica además. la localización de las siguientes cinco especies de sauces que se encuentran en México:

1) El *Salix bonplandiana* (bonplan willow). se encuentra en pequeñas localidades de Sonora. Baja California Sur y a lo largo de la Sierra Madre Occidental en Chihuahua.

[22] Miranda. F. 1976. La vegetación de Chiapas.

Durango. Zacatecas y Nayarit. para luego continuar en la vertiente del Oceano Pacífico desde Jalisco hasta Chiapas. internándose aún en Guatemala.

2) El *S. exigua* (coyote willow). se distribuye en distintos lugares de México. en pequeñas áreas en Baja California. en los extremos noreste de Sonora y noroeste de Chihuahua y en el sur de Tamaulipas.

3) El *S. lasiolepis* (arroyo willow). se localiza en el noroeste de Baja California y en pequeñas áreas de los estados de Sonora. Chihuahua. Durango y Coahuila.

4) El *S. nigra* (black willow). se distribuye en los estados de Baja California. Sonora. Chihuahua. Coahuila. Nuevo León. Sinaloa y Durango.

5) El *S. taxifolia* (yewleaf willow). se localiza en pequeñas áreas del norte de México y en grandes superficies de la región central y sur del pais hasta Guatemala.

Rzedowski (*op. cit.*). en su obra "Vegetación de México". indica específicamente la presencia de los dos siguientes sauces:

1) El *Salix bonplandiana* (sauce o ahuejote). se observa en la llanura aluvial situada entre la ciudad de Puebla y San Martin Texmelucan en el estado de Puebla. a más o menos 2.000 msnm. esta área está dedicada en su mayor parte a la agricultura encontrándose frecuentemente a orillas de canales y zanjas hileras de árboles nativos como son el aile (*Alnus glabrata*) y este sauce. y con menor abundancia fresno (*Fraxinus uhdei*) y tepozán (*Buddleia cordata*): dado que el agua freática en esta área se encuentra a un metro de profundidad. se puede establecer que originalmente esta región fue un bosque de ailes. con sauces y las otras especies como acompañantes.

2. El *S. cana* (sauce). se observa junto con gramíneas amacolladas (*Festuca*. *Stipa* y *Muhlenbergia*) y algunos arbustos. entre los que dominan algunas especies de *Quercus*. *Arbutus* y *Arctostaphylos arguta*: este sauce también es un elemento de la sucesión generada después de la destrucción del bosque climax de oyamel en el Valle de México.

Martinez (1979). en su obra "Catálogo de Nombres Vulgares y Científicos de las Plantas Mexicanas". menciona la presencia en México de diez sauces (*Salix babylonica*. *S. bonplandiana*. *S. bonplandiana* var. *fastigiata*. *S. chilensis*. *S. hartwegii*. *S. humboldtiana*. *S. jaliscana*. *S. lasiolepis*. *S. nigra* y *S. taxifolia*) con una distribución sumamente amplia. mencionando los nombre locales de cada una. incluso en lenguas indígenas.

De acuerdo con lo indicado por Martinez y Matuda (1979)[23], en su obra "Flora del Estado de México", publicada por la Biblioteca Enciclopedica del Estado de México integrando en una edición facsimilar, fascículos publicados entre 1953 y 1972, se encuentran en los lugares de esta entidad federativa de nuestro país que se mencionan, las nueve especies de sauces que se indican enseguida:

1) El *Salix babylonica* (sauce llorón), se encuentra en Lerma, fue introducido de China; 2) el *S. bonplandiana* (ahuejote), se localiza en Lerma; 3) el *S. bonplandiana* var. *fastigiata* (ahuejote), se observa en Lerma, seguramente introducido; 4) el *S. cana* se distribuye en la Cuenca de México, en el Cerro de Acatitlán a 2,000 msnm y en las cercanías de San Rafael a 2,900 msnm.

5) El *S. hartwegii* (saucillo), se localiza en San Francisco Acuautla en altitudes de 2,500 msnm, en Tejupilco a 1,100 msnm y en Zempoala a 3,200 msnm; 6) el *S. lasiolepis* se encuentra cultivado en la Cuenca de México; 7) el *S. paradoxa* (sauce), se observa en Puente de Calderón, Villa de Guerrero a una altitud de 1,800 msnm; 8) el *S. rowleei* (sauce) se localiza en Eslava; y 9) el *S. taxifolia* (sauce o taray), se encuentra en Zempoala a 3,200 msnm.

Nee (1984)[24], menciona la existencia de seis especies de sauces en el Estado de Veracruz, elaborando una clave de identificación para ellas; estos sauces se relacionan enseguida:

1) El *Salix bonplandiana* se encontró en el municipio de Huayacocotla, en altitudes entre 1,605 y 1,850 msnm, en sitios ribereños; 2) el *S. cana* en Veracruz, sólo se ubicó en el Pico de Orizaba a 3,450 msnm, dentro del bosque de pinos, indicándose que se encuentra también en las cercanías de Texoantla y Real del Monte, estado de Hidalgo; 3) el *S. exigua*, de amplia distribución desde Alaska, Canadá y Estados Unidos hasta el estado de Veracruz en México, se le encontró en el municipio de Tlacotalpan, a lo largo del rio Papaloapan, ya sea en suelos arenosos o de grava ribereña, en las orillas pantanosas, casi al nivel del mar; 4) el *S. humboldtiana* se localiza en este estado desde el río Pánuco al norte, en la planicie costera, en las faldas de la Sierra Madre Oriental cerca de Orizaba, hasta el rio Coatzacoalcos, en altitudes que van desde casi el nivel del mar hasta los 1,250 msnm, se encuentran en la selva mediana subperennifolia, en la selva baja caducifolia, en el bosque caducifolio, generalmente en habitat ribereño, aunque se observa en áreas de pastizales y sitios ruderales.

[23] Martinez, M. y E. Matuda. 1979. Las salicáceas. *In*: Flora del Estado de México pp. 219-222
[24] Nee, M. 1984. Flora de Veracruz, *Salicaceae*

5) El *S. paradoxa* no tiene una distribución bien conocida en México, en el estado de Veracruz se le encuentra principalmente en las regiones montañosas, en altitudes entre 2,200 y 3,000 msnm, en el bosque de oyamel, en el bosque de pino-encino, en el bosque de encino y en áreas de vegetación secundaria derivada de estos tipos de vegetación, se han observado ejemplares en el municipio de Huayacocotla, en las faldas del Cofre de Perote, en el municipio Las Vigas (cerca de La Joya) en el municipio de Calcahualco y en el municipio de Rafael Ramírez; y 6) el *S. taxifolia*, que tiene aspecto de arbusto de 2 a 4 metros de altura, tiene una amplia distribución en México y en el estado de Veracruz, desde cerca del nivel del mar hasta 1,500 msnm, se le ha observado en la selva alta perennifolia, en la selva alta subperennifolia, en la selva mediana subperennifolia y en el bosque caducifolio, casi siempre es ribereño, se han observado ejemplares cerca de Tantoyuca en el norte hasta la región Uxpanapa.

León *et al.* (1988)[25], menciona la presencia de *Salix lasiolepis* en el listado de especies de la flora vascular de las comunidades de bosque de pino-encino y de bosque de encino en la Sierra de la Laguna en Baja California Sur.

Quintero y Villa-Salas (*op. cit.*), llevaron a cabo una evaluación dasométrica, fenológica y sanitaria del ahuejote (*Salix bonplandiana*) en el área chinampera de Xochimilco, D.F., describiendo una metodología para caracterizar la vegetación y hacer la evaluación en los tres aspectos mencionados, resaltando la importancia de este sauce en el uso agrícola de la llamada área chinampera, recomendando además la necesidad de contar con programas de manejo forestal y la realización de mayores estudios sobre esta especie.

Jardel (coord., 1992)[26] menciona la presencia *Salix bonplandiana* y de *S. humboldtiana* en las partes bajas de los bosques de galería en la Reserva de la Biósfera Sierra del Manantlán, Jalisco.

Otto (*op. cit.*), dirige un proyecto para el Patronato del Parque Ecológico Xochimilco, A.C., que estudia específicamente al ahuejote (*Salix bonplandiana*), desde el punto de vista de su taxonomía, su fenología, su reproducción asexual y sexual, así como su papel en las chinampas de Xochimilco desde la época prehispánica, mencionando además algunos aspectos de las plagas que los aquejan y de su manejo.

[25] León de la Luz, J. L.; R. Domínguez C. y R. Coria B. 1988. Aspectos Florísticos. *In*: La Sierra de la Laguna de Baja California Sur. pp. 83-114.
[26] Jardel P., E. J. (Coord.). 1992. Estrategia para la conservación de la Reserva de la Biósfera Sierra de Manantlán.

Quintero, Villa-Salas y Alonso (Inédito)[27] como resultado de una revisión de los ejemplares que se encuentran en el Herbario Nacional Forestal "Biol. Luciano Vela Gálvez" (INIF) localizado en el Centro de Investigaciones Disciplinarias en Conservación y Mejoramiento de Ecosistemas Forestales del INIFAP y en el Herbario de la Facultad de Ciencias (MEXU) de la Universidad Nacional Autónoma de México, mencionan que el ahuejote (*Salix bonplandiana*) se distribuye prácticamente en todo el territorio del país (con excepción de los estados de Campeche, Quintana Roo, Tabasco y Yucatán), desde Baja California Sur y Sonora a lo largo de toda la vertiente del Pacífico hasta Chiapas; en la región central observaron ejemplares colectados desde Chihuahua y Durango hasta Zacatecas y San Luis Potosí; a lo largo de las entidades del Eje Neovolcánico, desde Jalisco y Michoacán hasta Veracruz. Esta especie se encuentra en altitudes que van desde muy cerca del nivel del mar hasta 2,700 msnm; localizándose principalmente a lo largo de ríos y arroyos, aunque también se encuentra en bosques de pino, bosques de pino-encino, bosques deciduos, bosques de galería, matorrales, barrancas, orillas de camino y en tierras de cultivo.

Chávez *et al.* (en prensa)[28] mencionan la presencia de dos sauces (*Salix oxylepis* y *S. bonplandiana*) en la cuenca del arroyo El Carrizal, ubicado en las cercanías de la población de Tapalpa, en el estado de Jalisco; indicando que estas dos especies se encuentran mezcladas de diferente manera en diferentes lugares con ailes (*Alnus* spp., *A. firmifolia* y *A. arguta*), fresnos (*Fraxinus* spp.), palo blanco (*Hilex* spp.) aguacatillo (*Phoebe arsenix*), capulín (*Prunus serotina* var. *serotina*), cerezo montés (*Prunus brachybotrya*), capulinalli o caca de gallina (*Rhamnus* spp.) y aceitunillo (*Cornus excelsa*). Esta cuenca se ubica entre 2,040 y 2,420 msnm, en un clima C (W2) (W).

De acuerdo con la literatura citada a lo largo de este capítulo, se puede establecer que en México se localizan 19 sauces nativos (18 especies y una variedad) y un sauce introducido, los cuales tienen una distribución muy amplia, por lo que las especies hasta ahora identificadas tienen variados nombres locales, tanto en español como en diferentes lenguas indígenas. En los Cuadros N° 1 y N° 2 se mencionan tanto los nombres técnicos, como los nombres con los que más frecuentementese les identifica.

Las especies enlistadas en el Cuadro N° 1 son nativas de México, con excepción del sauce llorón (*Salix babylonica*) que fue introducido de China, aunque su nombre sugiera que proviene del área donde fue Babilonia.

---

[27] Quintero de Anda, R.; A. B. Villa-Salas y M. A. Alonso R. (Inédito). El ahuejote, un sauce para la restauración ribereña.

[28] Chávez-Huerta, Y.; A. L. Medina; N. Madrigal-Sánchez y T. Saenz Reyes. (En prensa). Caracterización preliminar de las asociaciones de la vegetación ribereña de la cuenca del Arroyo el Carrizal. *In*: Memoria del Quinto Simposio Bienal México-Estados Unidos.

NOMBRE TÉCNICO	NOMBRE COMÚN
Salix babylonica L. (4, 5)	Sauce llorón.
S. bonplandiana HBK (1, 2, 4, 5, 6 , 7)	Ahuejote, huejote, huejocote, aguejote o sauce.
S. bonplandiana var. *fastigiata* Andre (4, 5)	Ahuejote.
S. cana Mar. & Gal. (1, 5, 6)	Sauce.
S. chilensis Mol. (3, 4)	Sauce, sauz o sauce blanco.
S. exigua Nutt (1, 2, 6)	Sauce.
S. gooddingii Ball. (1)	Sauce.
S. hartwegi Benth (1, 4, 5)	Saucillo.
S. humboldtiana Willd (1, 4, 6)	Sauce, sauce blanco o sauce pinotea.
S. jaliscana Jones (1, 4)	Jarilla.
S. lasiolepis Benth (1, 2, 4, 5)	Sauce o ahuejote.
S. mexicana Seemen (1)	Sauce.
S. nigra Marsh (1, 2, 4)	Sauz o sauz serrano.
S. oxilepis C. Schneid. (1, 7)	Sauce.
S. paradoxa HBK (1, 5, 6)	Saucillo o gusanillo.
S. rowleei C. Schneid. (1, 5)	Sauce.
S. schaffnerii C. Schneid. (1)	Sauce.
S. taxifolia HBK (1, 2, 4, 5, 6)	Sauce, sauz, palo de agua, taray o romerillo.
S. thurberi Rowlee (1)	Sauce.
S. wrightii Anderss. (1)	Sauce.

Fuentes: 1) Standley (1924), 2) Little (1976), 3) Miranda (1976), 4)Martínez (1979), 5) Martínez y Matuda (1979), 6) Nee (1984); y 7) Chávez *et al.*, (en prensa).

Cuadro N° 1. Relación de las especies de sauce que se han identificado en México.

NOMBRE COMÚN	LENGUA	LUGAR
Ahuejote	náhuatl	Región central del país.
A-ua-dzil	chontal	Estado de Oaxaca.
Batosil	tarahumara	Sierra de Chihuahua.
Cueschcui	zoque	Región de Tuxtla Gutiérrez. Chiapas.
Guatta	mayo	Estado de Sonora.
Huasej	cora	Estado de Nayarit.
Huexotl	náhuatl	Cuenca de México.
La-ua-zil	chontal	Estado de Oaxaca.
Mixcaxtac	totonaca	Estado de Veracruz.
Shitso	otomí	Ixmiquilpan. Hidalgo.
Sit-cho	otomí	Ixmiquilpan. Hidalgo.
Taremu	purépecha	Región Purépecha. Mich.
Tarimu	purépecha	Región Purépecha. Mich.
Tepehuexote	náhuatl	Cuenca de México.
Tocoy	huasteca	Sureste del estado de San Luis Potosí.
Tzintziqui-quihui	totonaca	Norte del estado de Puebla.
Yaga-gueza-lachi	zapoteca	Estado de Oaxaca.
Yaga-queza-lachi	zapoteca	Estado de Oaxaca.
Yutnu-nuu	mixteco	Estado de Oaxaca.

Cuadro N° 2. Nombres comunes de los sauces en diferentes lenguas nativas de México.

No obstante las especies referidas para México. por los autores mencionados en este capítulo. es conveniente hacer notar que Standley (*op. cit.*) indica que el *S. humboldtiana* tiene como sinonimias al *S. oxyphylla*. al *S. stipulacea* y al *S. humboldtiana stipulacea*; Martínez (*op. cit.*) menciona que el *S. bonplandiana* var. *fastigata* es una forma inominada de *S. chilensis*; Martínez (*op. cit.*). Carnevale (*op.cit.*) y Pennington y Sarukhan (*op. cit.*). identifican al *Salix chilensis* como sinónimo del *S. humboldtiana*.

USOS DE LOS SAUCES

Madera.

El sauce que produce la madera más comercial en Estados Unidos de América es el *Salix nigra* (black willow). aunque es un árbol pequeño o mediano que alcanza de 10 a 20 metros de altura y 36 centímetros de diámetro normal (DAP) (Harlow *et al.*, *op.cit.*).

La madera de los sauces de Canadá es por lo general ligera y suave. pero a la vez resistente al impacto. lo que la hace útil para la manufactura de diversos productos. La madera del *Salix nigra* (black willow). se usa en este pais para la fabricación de pelotas para el juego de polo (Hosie. *op. cit.*).

En Gran Bretaña. India y Pakistán. se atribuye importancia al *Salix alba* var. *caerulea* Smith. para ser cultivado mediante técrticas especiales para la fabricación de bastones para el juego de cricket (FAO. *op. cit.*).

Algunos sauces se han cultivado en Europa para producir tutores para diferentes cultivos agrícolas (FAO. *op. cit.*).

Standley (*op. cit.*). al referirse a los sauces que describe para México. menciona que la madera de algunos de ellos se ha utilizado como leña. en la construcción y en forma limitada para elaborar carbón.

Medicina tradicional.

Las cortezas de algunas especies de *Salix* son ricas en tanino y contienen un glucósido llamado salicina. Su infusión se ha usado empíricamente para combatir las fiebres y el reumatismo (FAO, *op. cit.*).

El extracto de la corteza de los sauces ha sido un precursor de las aspirinas (Harlow *et al.*, *op. cit.*).

En las Islas Británicas los sauces aún son recordados por su uso en la medicina medieval para curar el reumatismo. Curiosamente la salicina, un extracto de la corteza de los sauces, hoy en día, se usa en el tratamiento de la fiebre reumática (Wilks, *op. cit.*).

La corteza de algunos sauces de México por su contenido de taninos y salicina, se usó en la medicina prehispánica, en infusiones como tónico, estimulante afrodisiaco o para bajar la fiebre; como loción se le utilizaba para aliviar la erisipela (Standley, *op. cit.*).

Artesanías.

La producción de mimbre, aún importante en Europa Central, Oriental y posiblemente en Asia, está en plena regresión en Europa Occidental (FAO, *op. cit.*).

En Canadá algunas especies de sauces se utilizan localmente para la fabricación de canastas (Hosie, *op. cit.* y White, *op. cit.*).

Standley (*op. cit.*), también menciona que las ramas de algunos sauces de México se han empleado desde tiempos prehispánicos para la manufactura de canastas.

Restauración de áreas degradadas.

Los sauces requieren de mucha humedad y la mayoría de ellos son frecuentes a las orillas de las corrientes de agua, donde ellos entrelazan sus raíces y ayudan a proteger el suelo del lavado, por lo que se usan ampliamente para estabilizar suelos aledaños a las corrientes de agua (Harlow *et al.*, *op. cit.*).

En Canadá en forma general algunos sauces se utilizan en trabajos de restauración (Hosie *op. cit.*), igualmente sucede en forma especial en la provincia de Ontario (White, *op. cit.*).

Protección de suelos en áreas agrícolas (evitando o reduciendo las erosiones eólica e hídrica).

En el norte de Alemania y en los Países Bajos, los sauces se emplean a menudo para establecer cortinas rompe-vientos (FAO, *op. cit.*).

En la Cuenca de México, en el siglo XII durante la gestión del primer gobernante de los xochimilcas, Acatoncell, nació el sistema de cultivo agrícola denominado chinampa, en el cual un sauce ampliamente distribuido en la región xochimilca, localmente llamado ahuejote (*Salix bonplandiana*), desempeñó un papel importante (Reyes, 1982)[29]

En México desde tiempos prehispánicos, al establecerse la agricultura chinampera en el área que ahora comprenden las delegaciones de Xochimilco y Tláhuac, en el Distrito Federal, el ahuejote (*Salix bonplandiana*) ha desempeñado un papel muy importante en la fijación de suelos en las chinampas, evitando el arrastre del mismo hacia los canales que permiten la irrigación de diferentes cultivos que en ellas se obtienen (Quintero y Villa-Salas, *op. cit.*; Otto, *op. cit.*).

Plantaciones ornamentales.

Existen evidencias del uso de los sauces llorones en Inglaterra como ornato a las orillas del río Támesis desde el siglo XVIII, los cuales fueron introducidos en 1748 por un señor de apellido Vernon (Wilks, *op. cit.*).

Desde el punto de vista ornamental, varias especies exóticas de sauces tienen gran aceptación en Norteamérica, principalmente el *Salix babylonica* (weeping willow) del este de Asia, así como también el *S. pentandra* (laurel willow), el *S. alba* var. *vitellina* (L.) Stokes (yellowstem white willow) y el *S. fragilis* L. (brittle willow) de origen europeo, los dos últimos se encuentran ampliamente en el este de Estados Unidos de América (Harlow *et al.*, *op. cit.*).

[29] Reyes H., A. 1982. Xochimilco, monografía.

Algunos sauces nativos de México, de 10 a 20 metros de altura (*Salix alba*, *S. bonplandiana* y *S. humboldtiana*) son usados para arborizar carreteras y zonas urbanas de las áreas templadas y húmedas del país, en altitudes que varían de 1,000 a 2,000 msnm. Igualmente es utilizado en México el sauce llorón (*S. babylonica*), árbol de 8 a 10 metros que fue introducido de China, el cual se adapta a cualquier tipo de suelo, siempre que sean muy húmedos (Castaños, 1994)[30].

Forrajero.

Algunas especies arbustivas de sauces, son ramoneadas por el ganado vacuno en las áreas ganaderas del oeste de Estados Unidos de América (Harlow *et al.*, *op. cit.*).

En México las hojas de algunos sauces, ocasionalmente se llegan a usar como forraje para ganado (Standley, *op. cit.*).

Producción de miel.

Las abejas obtienen mucho de su polen de las especies de sauces que florean tempranamente (Harlow *et al.*, *op cit.*).

COMENTARIO FINAL

No cabe duda que las características botánicas, ecológicas, fisiológicas, forestales y de usos de los sauces, aunadas a la facilidad de su reproducción asexual, permiten establecer que los sauces que vegetan en México deben ser estudiadas más profundamente, ya que presentan un gran potencial ecológico y económico en la producción de madera (principalmente para la industria de la celulosa y el papel), en la extracción de sustancias químicas útiles en la medicina, en la producción del mimbre necesario para la cestería, en la restauración y protección de ecosistemas ribereños y de áreas agrícolas, en ,el establecimiento de plantaciones ornamentales y aún como productor de forraje o para facilitar la producción de miel en épocas en que sólo esta especies florea.

[30] Castaños, C. M. 1994. Arborización para carreteras y zonas urbanas.

Por lo anterior, los autores de esta contribución esperan que la información presentada resulte de utilidad a quienes pretendan profundizar en el estudio del potencial productivo de las diferentes especies del género *Salix* que vegetan en México.

LITERATURA CITADA

Argus, G. W. 1965. The taxonomy of the *Salix glauca* complex in North America. Contrib. Gray Herb. Harvard University. 196. 142 p.

Carnevale, J. A. 1955. Árboles forestales, descripción, cultivo y utilización. Librería Hachette. Tercera edición. Buenos Aires. 689 p.

Castaños, C. M. 1994. Arborización para carreteras y zonas urbanas. SCT, Caminos y Puentes Federales. México, D.F. 438 p.

Ceballos, F. C. y F. Ortuño M. 1976. Estudio sobre la vegetación y la flora forestal de las Canarias Occidentales. Excmo. Cabildo Insular. Santa Cruz de Tenerife. 434 p.

Chávez-Huerta, Y.; A. L. Medina; X. Madrigal-Sánchez y T. Saenz-Reyes. En prensa. Caracterización preliminar de las asociaciones de la vegetación ribereña de la cuenca del Arroyo el Carrizal. *In*: Memoria del Quinto Simposio Bienal México-Estados Unidos.

Cibrián, D.; J. T. Méndez; R. Campos; H. Yates III y J. Flores. 1995. Insectos forestales de México. Universidad Autónoma Chapingo. Subsecretaria Forestal y de Fauna Silvestre-SARH, United States Department of Agriculture-F. S., Natural Resources Canada y Comisión Forestal de América del Norte-FAO. Publicación Nº 6. México. 453 p.

F.A.O. 1980. Los álamos y los sauces, en la producción de madera y la utilización de las tierras. Colección FAO: Montes, núm 10. Roma. 350 p.

Griffin, J. R. y W. B. Critchfield.1972. The distribution of forest trees in California. USDA, Forest Service. Research paper PSW-82. Berkeley, California. 118 p.

Harlow, W. M.; E. S. Harrar y F. M. White. 1978. Textbook of Dendrology, covering the important Forest Trees of the United States and Canada. Sixth Edition. McGraw-Hill Book Co. New York. 510 p.

Hosie, R. C. 1990. Native Trees of Canada. Eighth edition. Fitzhenry & Whiteside Ltd. Ontario. 380 p.

Jardel P., E. J. (Coord). 1992. Estrategia para la conservación de la Reserva de la Biósfera Sierra de Manantlán. Editorial de la Universidad de Guadalajara. Guadalajara. Jal. 316 p.

León de la Luz, J. L.; R. Domínguez C. y R. Coria B. 1988. Aspectos Florísticos. *In*: La Sierra de la Laguna de Baja California Sur. Centro de Investigaciones Biológicas de Baja California Sur. Publicación Núm. 1. La Paz, B.C.S. pp. 83-114.

Little, E. L. 1976. Atlas of United States Trees. Volume 3. Minor Western Hardwoods. USDA. Forest Service. Miscellaneous Publication No. 1314. Washington, D.C. 13 p. 210 maps.

Martínez, M. 1979. Catálogo de nombres vulgares y científicos de las plantas mexicanas. Fondo de Cultura Económica. Reimpresión. México, D.F. 1248 p.

Martínez, M. y E. Matuda. 1979. Las salicácaeas. *In*: Flora del Estado de México. Biblioteca Enciclopédica del Estado de México (edición facsimilar de 1957). Toluca, Mex. Tomo I. pp. 219-222.

Miranda, F. 1976. La vegetación de Chiapas. Ediciones del Gobierno del Estado. Segunda parte. Tuxtla Gutiérrez. Chis. 189 p.

Nee, M. 1984. Flora de Veracruz, *Salicaceae*. INIREB, fascículo 34. Jalapa, Ver. 24 p.

Otto, E. S. 1993. El Ahuejote. Patronato del Parque Ecológico de Xochimilco. México, D.F. 88 p.

Pennington, T. D. y J. Sarukhan. 1968. Manual para la identificación de los principales árboles tropicales de México. INIF-FAO. México, D.F. 413 p.

Quintero de Anda. R. y A. B. Villa-Salas. 1991. Evaluación dasométrica. fenológica y sanitaria del ahuejote (*Salix bonplandiana* HBK). en el área chinampera de Xochimilco. D.F. México. D.F. Revista Ciencia Forestal en México. 16 (70): 39-67.

Quintero de Anda. R.: A. B. Villa-Salas y M. A. Alonso R. Inédito. El ahuejote, un sauce para la restauración ribereña.

Rehder. A. 1947. Manual of cultivated trees and shrubs. Second edition. Macmillan. New York.

Reiche. C. 1926. Flora exploratoria en el valle central de México. Ed. Manuel Porrúa (Edición facsimilar. 1977). México. D.F. 306 p.

Reyes H., A. 1982. Xochimilco, monografía. COCODER. DDF. México. D.F. 131 p.

Rzedowski. J. y R. McVaugh. 1966. La vegetación de Nueva Galicia. Contributions from the University of Michigan Herbarium. Ann Arbor. Michigan. 9 (1): 1-123.

Rzedowski. J. 1978. Vegetación de México. Editorial LIMUSA. Mexico. D.F. 432 p.

Sánchez S., O. 1968. La Flora del Valle de México. Editorial Herrero. México. D.F. 520 p.

Standley. P. C. 1924. Trees and Shrubs of Mexico. Contributions from the United States National Herbarium. Volume 23. Part 1. Smithsonian Institution. Washington. D. C. pp. 160-163.

Viereck. L. A. y E. L. Little. 1972. Alaska Trees and Shurbs. USDA. Forest Service. Agriculture Handbook No. 410. Washington. D. C. 266 p.

White. J. H. 1977. The Forest Trees of Ontario and the more commonly planted forcing trees.Ontario Ministry of Natural Resources. Ontario. 120 p.

Wilks. J. H. 1972. Trees of the British Isles in History & Leyend. Frederick Muller Limited. Londres. 256 p.

EL ESPACIAMIENTO EN PLANTACIONES FORESTALES

Patiño Valera Fernando*

RESUMEN

El presente artículo analiza algunos aspectos ligados a una de las decisiones fundamentales que es necesario tomar al establecer estas poblaciones: definir el espaciamiento al que crecerá la población. El espaciamiento es uno de los factores decisivos sobre el comportamiento de la población, e influye sobre las características de crecimiento, sobre la producción, la edad en que puede ser aprovechada y sobre las prácticas culturales a aplicarse a la misma. Para seleccionar el espaciamiento adecuado, debe considerarse también, la calidad del sitio de plantación, la especie a ser plantada y la calidad genética del material a ser empleado, además de las interacciones que se presenten entre éstos componentes.

Los resultados obtenidos por muchos autores permiten señalar entre otras cosas que: La mortalidad y el espaciamiento están altamente relacionados, así, a menor espaciamiento mayor será la mortalidad y que esta relación se ve afectada por la edad, la especie y las condiciones del sitio. El espaciamiento influencia más el desarrollo en diámetro que el crecimiento en altura de los árboles. Las poblaciones más densas producen mayor volumen total de madera que aquellas menos densas; los espaciamientos mayores producen un número más grande de árboles con mayor volumen individual y de mejor forma y dimensiones. El volumen útil de madera puede ser semejante entre poblaciones con mayor y menor número de individuos. Las principales consecuencias negativas, de los espaciamientos pequeños, se pueden resumir en un mayor consumo de plantas y fertilizantes por hectárea, así como una mayor dificultad para el control de maleza y de los aprovechamientos, mayor número de cortas de aclareo y una mayor producción de madera de pequeñas dimensiones, todos ellos incidiendo para aumentar el costo de establecimiento y disminuir el precio de venta de los productos, de menor calidad y dimensiones.

* Ingeniero Agrónomo Forestal, M.C.; Director Regional del CIR-Sureste, INIFAP, SAGDR.

Palabras clave: Espaciamiento, plantaciones forestales, mortalidad, comportamiento de población, especie.

ABSTRACT

This paper deals with one of the most important decision to take in the life of a forest plantation: the spacing. The spacing is one of the most decisive factors which inluence the growing of tree's population. The spacing has influence in some characteristics like the growth in heigth and diameter, the wood production rate, the age in which the trees can be harvested, and in the selection of the silvicultural practices applied to management of population's from the initial stage to maturity. In the selection of appropiate spacing, it is necessary to consider some factor affecting the species development like site's quality index, the specie to be stablished, and the genetic quality of the plants used in the plantation.

The mortality and the spacing in the population are strongly linked, in small spacing it's obtained a major mortality than in bigger spacings, and this relationship its influenced by the age, the specie and the site's quality index. The spacing has a major influence in the diameter than over the heigth growth, the most dense populations produce more volume of wood than less dense ones; the greater spacing produce a major number of trees with more individual's volume and with better trunk form than less dense populations. The useful volume can be the same between populations growing in different spacing areas and with a different number of individuals. The main negative constraints of minor spacings, can be summarized in the need of a greater number of plants, fertilizers, chemicals and labor required by hectare, and more difficulties to control weeds, more clear cutting practices, and other silvicultural treatments and a bigger production of wood of low quality, all of them conducting to an increase the costs per hectare and with a wood yield of less value.

Key words: Spacing, forest plantations, mortality, population management, specie.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad se reportan más de 40 millones de hectáreas de plantaciones forestales en los trópicos del mundo y cerca de 100 millones de hectáreas adicionales en las

regiones templadas. Muchos países son enteramente dependientes de las plantaciones para satisfacer su demanda interna de madera, entre ellos se pueden mencionar: Lesotho, Swazilandia y Trinidad y Tobago; algunos otros como Brasil, Chile y Sudáfrica, obtienen de plantaciones comerciales la mayor parte de su demanda interna y exportan sus excedentes.

Evans (1992)[1] estima que para 1990 en los trópicos del mundo existían alrededor de 43 millones de ha de plantaciones, las que, asumiendo una muy conservadora producción de 15 m^3/ha/año, producirían por sí solas alrededor de 645 millones de m^3 de madera por año, una cantidad similar al 15 % de la demanda mundial de madera que se espera para 1995.

Considerando que el desarrollo de plantaciones va a continuar con la misma tendencia mostrada en los últimos años, es claro que las plantaciones tropicales pueden convertirse en una de las mayores fuentes de productos forestales y de ellas provendrá una cantidad de madera cada vez mayor para satisfacer la demanda, tanto para usos industriales como aserrío, tableros aglomerados, contrachapados, celulosa y papel, como las de madera para construcción y para uso directo, principalmente como fuente de energía, por la población rural.

Los recursos forestales nativos de muchos países se encuentran agotados o no son susceptibles de aprovecharse sin provocar un daño ecológico, como es el caso de los recursos naturales de algunos países Europeos y de Estados Unidos.

La clara tendencia a fomentar la conservación de los bosques, tanto nacionales como privados en países desarrollados, por presiones de grupos ambientalistas, ha disminuido la superficie de aprovechamiento forestal y en consecuencia la producción de madera, como sucedió por ejemplo, en los bosques del noroeste de Estados Unidos en donde, buscando preservar el hábitat del búho moteado, se redujeron las áreas bajo aprovechamiento en un 90 % en terrenos nacionales y en un 25 % en bosques privados de esa región. Esta medida provocó que el precio de la madera se duplicara en menos de un año y que se tuviera la necesidad de importar 1,200 millones de pies cúbicos de madera adicionales, para cubrir el déficit de la demanda interna, causado por la disminución de la producción, en ese país.

Así mismo, es importante señalar que la tendencia de la demanda de productos forestales en el mercado mundial va en aumento. Se espera que ésta se incremente en 15 % para el año 2000. También, se calcula que las necesidades de fibras para celulosa, sólo en México, aumentarán en un 45% para el mismo año de referencia.

[1] Evans, F. 1992. Plantation forestry in the tropics.

Esta madera adicional que se va a requerir tanto en Estados Unidos y otros paises del mundo como en México, bien puede provenir de plantaciones establecidas en regiones forestales donde la cubierta vegetal original fue alterada o removida y que presentan condiciones agroecológicas favorables para el cultivo de especies arbóreas forestales.

En el país existen condiciones adecuadas, tanto políticas y sociales como tecnológicas, para establecer plantaciones comerciales, considerándolas como una posible alternativa para suplementar la creciente demanda interna de productos forestales; actualmente esa demanda se satisface a través del aprovechamiento de los bosques naturales y una gran parte tiene que importarse del exterior. Estas importaciones son principalmente de productos celulósicos y papel.

Un efecto previsible del Tratado de Libre Comercio de América del Norte, es que inducirá a la producción eficiente y de escala de todo tipo de productos. La posibilidad de competencia entre los tres países es variable en el corto plazo, pero la inevitable apertura comercial, obliga desde ahora, a seguir una estrategia de aumentar la eficiencia productiva y al uso de la tecnología disponible para lograrla, a la reducción de costos en todos los pasos de estas cadenas y también a ubicarse en los escalones de la industrialización que permitan incorporar las mayores ventajas de costo y calidad locales.

México ocupa una posición geográfica privilegiada, tanto en aspectos agroecológicos, como de posibilidades de mercado, ya sea para importar o para exportar. Existen regiones donde la producción agrícola, pecuaria y forestal puede realizarse durante todo el año, limitada únicamente por la disponibilidad de agua; en este sentido debe destacarse la oportunidad de producir madera en plantaciones comerciales tropicales, para celulosa, contrachapados, tableros y/o aserrío, ya sea para abasto nacional o para exportar a Estados Unidos y a países de Europa y Asia.

Considerando las ventajas comparativas señaladas, el trópico de México tiene condiciones muy favorables para optar por ese nicho de mercado. Por esta circunstancia, diversas empresas nacionales y extranjeras, están buscando alternativas para su abastecimiento a partir de plantaciones comerciales forestales, que deberán satisfacer la demanda interna de México, sobre todo de celulosa y papel y, además, exportar los excedentes.

Considerando la importancia que el tema plantaciones forestales ha despertado en el país, se ha creído conveniente analizar algunas de las principales decisiones a tomar en la vida de una plantación, con la finalidad de orientar y dar a conocer algunas experiencias sobre el particular, obtenidas en muchas partes del mundo y en México.

con especies que son objeto de plantación y de interés. como las de los géneros *Eucalyptus*. *Pinus*. *Cedrela*. *Swietenia* y *Gmelina*. entre otros.

Una de las decisiones fundamentales al iniciar la plantación es el espaciamiento a que habrán de colocarse las plantas: el presente documento intenta explicar algunos de los efectos del espaciamiento sobre factores clave para la sobrevivencia y productividad de las especies a utilizar en plantaciones comerciales.

Importancia del espaciamiento

Una ventaja de las plantaciones sobre los bosques naturales es el control estrecho del número y de la distribución de los árboles en la población. mediante el establecimiento en espaciamientos predeterminados. para obtener en el tiempo y el espacio árboles y madera con características más o menos uniformes. Esto contrasta notablemente con los bosques o selvas naturales donde la población es heterogénea. y debido a la forma. a la especie y al tamaño de los árboles presentes. únicamente se pueden aprovechar algunos individuos por hectárea.

Sin embargo. a pesar de que la plantación está normalmente distribuida en el terreno. de manera que toda el área tenga árboles en crecimiento. el sitio no estará totalmente ocupado durante toda la vida de la plantación. Lo anterior se explica por el hecho de que al inicio de la misma. el espacio requerido por los individuos es mínimo. y se puede mantener una densidad alta. Conforme van creciendo y compitiendo los árboles entre si. el espacio entre ellos se modifica. ya sea por causas naturales. o bien por efecto de los aclareos que se practiquen. hasta dejar la población que llegará al final de la rotación.

El espaciamiento de una plantación representa uno de los factores decisivos sobre el comportamiento futuro de la masa. en virtud de que tiene una gran influencia sobre las características de crecimiento y. consecuentemente. sobre la producción. la edad en que la masa puede aprovecharse y sobre las prácticas culturales a ser aplicadas en la misma.

El espaciamiento también se induce en función del sitio. de la especie. y de la calidad genética del material reproductivo que se va a utilizar. pero indiscutiblemente el uso final de la madera. será un factor decisivo para la selección del espaciamiento adecuado.

La competencia por luz, humedad y nutrientes depende en gran medida de la cantidad de troncos existentes por unidad de superficie, y la interacción del ambiente con los factores genéticos hace que el desarrollo de los árboles sea más intenso, promoviendo la competencia, tanto entre las copas como entre las raíces.

Normalmente los árboles más vigorosos tienden a aumentar anualmente sus alturas, el tamaño del tronco, la longitud de sus ramas y el número de hojas. Por lo tanto, exigen mayores espacios para garantizar su desarrollo y sobrevivencia y en consecuencia manifestar sus condiciones vitales. Esos árboles más vigorosos, sobrepasarán a los menos adaptados y los suprimirán.

Existen caracteres que no sufren grandes alteraciones con las variaciones ambientales, sin embargo, los caracteres de mayor interés económico generalmente son cuantitativos y por lo tanto pequeñas variaciones en el ambiente son suficientes para provocar modificaciones fenotípicas significativas, como es el caso de las características de crecimiento en altura y diámetro de los árboles, que influyen directamente en la productividad.

La productividad forestal está influenciada por varios parámetros, entre ellos se pueden señalar aquellos relacionados con la calidad genética del material reproductivo utilizado, los espaciamientos compatibles con el uso final de la madera, la edad de corte de los árboles y las prácticas silvícolas empleadas en la población para permitir el adecuado desarrollo de la plantación (Patiño, 1986)[2].

El espaciamiento tiene implicaciones desde el punto de vista silvícola, tecnológico y económico. Influye en las tasas de crecimiento de las plantas, la calidad de la madera, la edad de corte, así como las prácticas de manejo y aprovechamiento de la plantación, todo ello tiene repercusión también en los costos de producción de la madera.

Smith (1962)[3] señala que el mayor volumen de madera en metros cúbicos se obtiene en las plantaciones cuya población es muy densa y ocupan totalmente con sus copas el espacio disponible a edades tempranas. Sin embargo, es muy importante señalar que el objetivo real consiste en alcanzar una producción óptima de madera en términos de material utilizable (calidad de árboles) y no sólo aumentarla al máximo en términos volumétricos.

De acuerdo a lo anterior el espaciamiento no debe ser rígido para cada especie o sitio, es necesario analizar diversos factores antes de tomar una decisión.

[2] Patiño V., F. 1986. Variaçao genética em progênies de Eucalyptus saligna.
[3] Smith D., M. 1962. The practice of silviculture.

El espaciamiento debe decidirse en función a varios factores como calidad del sitio, el habito de crecimiento de la especie, la sobrevivencia esperada, el objetivo de producción, el método de manejo de la masa en el tiempo y en el espacio, la clase de equipo a utilizar en las prácticas culturales, la forma de aprovechamiento, las implicaciones económicas de cada uno de los factores enumerados y del efecto de sus posibles interacciones.

Es importante tomar todas las precauciones para decidir sobre el espaciamiento a emplear en una plantación, estas decisiones implican un conocimiento de la especie y su comportamiento en diferentes densidades y el efecto que se produce sobre el producto final a obtener.

Considerando lo anterior, a continuación se analizan las implicaciones de la densidad de la población frente a factores silviculturales, tecnológicos y económicos relacionados o que pueden ser alterados por la selección del espaciamiento, entre ellos se tienen los efectos del espaciamiento en su interacción con: la especie, calidad del sitio, prácticas de manejo, calidad de la madera, volumen de madera a producir, edad de corte de la madera e implicaciones económicas.

Objetivo de la plantación

El destino del producto forestal es sin duda uno de los factores más importante para la selección del espaciamiento. Así por ejemplo, si la plantación se destina a producir madera aserrada o postes, donde se requieren trozas de cierta longitud y diámetro mínimos, el espaciamiento final, después de los aclareos, debe ser grande. Si la finalidad de la plantación fuera la producción de celulosa o energía (leña o carbón), donde la dimensión de las trozas no es tan importante, se debe escoger un espaciamiento que proporcione el mayor rendimiento en volumen posible, en estos casos no se practican aclareos y sólo se realiza una corta final; si la plantación tiene como objetivo la producción de semillas, ya sea para establecer un área semillera o un huerto semillero, el espaciamiento será mayor a fin de propiciar el mayor desarrollo de las copas, sin importar el fuste y en consecuencia, aumentar el área foliar donde se producirán los frutos y semillas.

Espaciamiento y especie, competencia y sobrevivencia

Durante el crecimiento inicial de la población, el principal factor de competencia es la maleza, cuyo control es realizado normalmente desde la preparación del terreno y a través de tratamientos culturales posteriores.

Al iniciarse en los años subsecuentes, la mayor competencia entre los árboles por luz, agua y nutrientes, los factores limitantes del crecimiento, comienzan a disminuir y se inicia una selección entre los individuos, los que presentan ya una cobertura con sus copas, que cubre casi totalmente el sitio, dando inicio a la dominancia de algunos individuos de la población.

La mayoría de las especies de rápido crecimiento como las de los géneros *Eucalyptus* y *Gmelina* entre otros, son intolerantes a la competencia, ocurriendo una rápida segregación del rodal en estratos (dominante, codominante y dominado).

El tiempo para la definición de los estratos será mayor o menor, dependiendo del espaciamiento, de la especie, de la calidad del sitio y de las interacciones que puedan ocurrir entre estos factores. Esta estratificación es producto de la habilidad competitiva de los árboles, cuya variación ocurre tanto entre especies como entre árboles de una misma especie.

Existen especies más tolerantes a la competencia, o sea, que poseen una tasa baja de auto eliminación, aún en rodales homogéneos, como ejemplos se pueden citar *Eucalyptus camaldulensis* y *E. maculata* (Hills y Brown, 1978 *cit. pos.* Patiño, *op. cit.*). Para las plantaciones el grado de autoeliminación o el porcentaje de árboles dominados en el rodal puede ser también producto del grado de mejoramiento en que se encuentre la especie. El sistema radicular tiene una fuerte influencia en la adopción del espaciamiento, así, las especies que poseen un sistema radicular superficial sufrirán una competencia más intensa por luz y nutrientes que las especies con sistema radicular pivotante.

En trabajos sobre espaciamiento realizados con *Tectona grandis* (Teca) a los siete años (Díaz et al. 1993)[4] y *Tabebuia rosea* (Maculis) a los cinco años (Díaz et al. 1986)[5]; *Cedrela odorata* (Cedro) a los cinco años (Bertoni, 1976)[6]; *Swietenia macrophylla* (Caoba) a los 5 años (Sánchez y Gómez, 1981)[7] y *Gmelina arborea* (Melina) a los ocho años de edad (Juárez y Ramírez, 1985)[8], se probaron en todos los casos, cuatro espaciamientos comunes 2 x 2, 2.5 x 2.5, 3 x 3, y 3.5 x 3.5 m., entre hileras y plantas

[4] Díaz, M. E. R. A.; J. C. Castillo V. y J. M. Jiménez C. 1993 Informe técnico sobre el desarrollo de plantaciones forestales de Tectona grandis (Teca).

[5] Díaz, M. E. R. A., J. C. Castillo V. y J. M. Jiménez C. 1986. Informe técnico sobre el desarrollo de plantaciones forestales en C.E. Ing. Eduardo Sangri Serrano (El Tormento).

[6] Bertoni V., R. 1976. Informe técnico sobre crecimiento de plantaciones forestales de cedro y caoba en el C.E. Ing. Eduardo Sangri Serrano (El Tormento).

[7] Sánchez M., A. y Gómez T., J. 1981. Informe Técnico sobre el desarrollo de ocho especies creciendo en plantaciones forestales en el C.E. Ing. Eduardo Sangri Serrano (El Tormento).

[8] Juárez G., V. M. y H. Ramírez M. 1985. Crecimiento de *Gmelina arborea* L. Roxb. en cuatro espaciamientos. pp. 33-49.

de la misma hilera respectivamente. Los resultados obtenidos por los autores para la sobrevivencia, se pueden observar en el cuadro N° 1.

ESPACIAMIENTO	2.0 x 2.0 (m)	2.5 x 2.5 (m)	3.0 x 3.0 (m)	3.5 x 3.5 (m)	EDAD
ESPECIE	SOBREVIVENCIA (%)				AÑOS
Tectona Grandis	64	67	87	77	7
Cedrela odorata	74	65	71	77	5
Tabebuia rosea	83	89	94	98	5
Swietenia macrophylla	93	83	84	87	5
Gmelina arborea	81	84	81	80	8

Cuadro N° 1. Sobrevivencia de especies tropicales en diferentes espaciamientos, expresada como porcentaje de plantas vivas (C. E. Ing Eduardo Sangri Serrano, Escárcega, Campeche).

Como puede observarse no se identificaron diferencias significativas entre tratamientos, existiendo buena sobrevivencia para las especies, a la edad en que fueron analizadas. En el caso de *Tectona grandis* (Teca) se puede apreciar alguna influencia del espaciamiento para la sobrevivencia, disminuyéndose ésta en los casos en que el espacio de crecimiento es menor.

La mortalidad y el espaciamiento están altamente relacionados, como regla general se puede decir que a menor espaciamiento mayor será la mortalidad y que esta relación se ve afectada por la edad, la especie y las condiciones del sitio.

Balloni y Simoes (1980)[9] analizaron estudios sobre espaciamiento en *Eucalyptus grandis* y *E. saligna*, con la finalidad de relacionar el efecto del espacio de crecimiento en la sobrevivencia y comportamiento de los árboles; en el cuadro N° 2 se pueden observar los efectos detectados por los autores.

[9] Balloni E., A. y W. Simoes J. 1980. O espaçamento de plantio e suas implicaçoes silviculturarais. pp. 1-16.

ESPACIAMIENTO (m)	*E. grandis* fallas y muertes (%)	*E. grandis* dominados (%)	*E. saligna* fallas y muertes (%)	*E. saligna* dominados (%)
3.00 x 1.50	16	15	21	30
3.00 x 2.00	18	6	21	30
3.00 x 2.50	15	9	11	12
3.00 x 3.75	19	12	11	16

Cuadro N° 2. Proporción de árboles dominados, fallas y muertes en parcelas experimentales de *Eucalyptus grandis* y *Eucalyptus saligna*, a los seis años de edad en diferentes espaciamientos (Balloni y Simoes, 1980).

En el cuadro anterior se consideran como árboles dominados aquellos que tienen la mitad de la altura de los árboles dominantes de la plantación.

Como puede observarse, *Eucalyptus saligna* es más sensible a la competencia que *E. grandis*, a juzgar por el excesivo número de árboles muertos y dominados, reportados en todos los espaciamientos probados. Como conclusión, Balloni y Simoes (*op. cit.*) no recomiendan espaciamientos inferiores a 3.0 x 2.0 m para *Eucalyptus saligna*.

La exigencia de las especies por espacio para crecer, se manifiesta a través del aumento del número de individuos muertos y/o dominados en la población; cuando se usan espaciamientos más amplios las diferencias entre las especies desaparecen.

García (1989)[10], estudió el efecto del espaciamiento en cuatro especies de *Pinus*, los datos reportados por el autor se pueden apreciar en el cuadro N° 3.

La sobrevivencia en las especies ensayadas no mostró ninguna tendencia de aumentar en relación directa con un mayor espaciamiento, excepto en *Pinus leiophylla*, posiblemente debido a que la disminución del número de plantas se debió en su mayor parte a daños causados por tuzas, además de otras plagas, enfermedades y a otros efectos del medio, incluyendo la competencia.

[10] García M., J. J. 1989. Efectos del espaciamiento en el desarrollo de una plantación de cuatro especies de pino en Capacuaro, Michoacán. pp. 18-51.

ESPACIAMIENTO	2.0 x 2.0 (m)	2.5 x 2.5 (m)	3.0 x 3.0 (m)	3.5 x 3.5 (m)	4.0 x 4.0 (m)
ESPECIE	SOBREVIVENCIA (%)				
Pinus douglasiana	83	74	78	79	70
Pinus leiophylla	72	71	76	76	82
Pinus montezumae	82	92	81	67	53
Pinus pseudostrobus	63	39	49	50	57

Cuadro N° 3. Sobrevivencia en porcentaje a la edad de 5 años 8 meses, para cuatro especies de Pinus, creciendo en cinco espaciamientos (García, 1989).

Espaciamiento y condiciones del sitio

Como ya se señaló, después de algunos años de crecimiento de la plantación, las plantas entran en competencia por agua, luz y nutrientes. Por lo tanto es de esperarse que los factores abióticos del sitio (climáticos, edáficos y fisiográficos) tengan influencia sobre el crecimiento de la población, por lo cuál deberán considerarse para seleccionar el espaciamiento más adecuado.

En forma general se puede indicar que las localidades más secas soportarán un número menor de plantas por área que aquellos en que la disponibilidad de humedad sea mayor, lo anterior nos lleva a reflexionar sobre la capacidad máxima, en número de individuos o en área basal, que puede soportar cada sitio.

Sobre el particular Barret *et al.* (1975)[11] afirman que para plantaciones de *Eucalyptus* espaciamientos menores de 2 m por planta solamente serían indicados para las mejores clases de sitio. En sitios pobres, los espaciamientos deberían ser mayores a 3 m por planta. El Wattle Research Institute (1972)[12] recomienda que en sitios pobres las especies de *Eucalyptus* se planten en espaciamientos amplios y las de *Pinus* en espaciamientos menores.

[11] Barret E., A., T. Carter D. y R. T. Seward B. 1975. *Eucalyptus grandis* in Rhodesia. pp. 1-87.
[12] Wattle Research Institute. 1972. Handbook on eucalipt growing.

Los resultados obtenidos por Van Laar (1961)[13] para *Eucalyptus saligna* confirman la necesidad de abrir los espaciamientos en sitios pobres. Afirma el autor que el problema es bastante complejo, pues el crecimiento de la población no sólo depende del consumo de agua de los árboles, sino también del agua consumida por la vegetación competidora. De esta manera, la mayor competencia de la maleza en los espaciamientos más amplios podría influir en los resultados.

La plantación en espaciamientos pequeños y en sitios de mejor calidad de estación, puede depender también de la existencia de mercado para la madera fina, que se va a producir, pues en caso contrario, las cortas de aclareo serán consideradas como operaciones culturales necesarias pero sin retorno económico. Por lo tanto, la selección del espaciamiento para la plantación, aún en sitios pobres, puede estar ligada a la existencia de mercado para el producto final de la plantación.

Dependiendo de la especie y de las características ambientales, cuanto mayor sea el número de árboles por unidad de área, dentro de ciertos límites, mayor será el volumen total de madera producida. Por otro lado, el aumento de la densidad de la población implica un aumento en los costos de plantación y de manejo, siendo necesario balancear los aumentos de producción con los incrementos del costo.

Las principales consecuencias negativas, desde el punto de vista técnico y económico, de los espaciamientos pequeños, se pueden resumir en lo siguiente: mayor consumo de plantas y fertilizantes, así como una posible dificultad de aprovechamiento, mayor número de cortas de aclareo y producción en ellas de madera de pequeñas dimensiones, entre las más importantes.

Por otro lado, además del mayor volumen total de madera producida, las plantaciones sobre espaciamientos menores exigirán menor número de deshierbes y cultivos, debido a una ocupación más rápida del terreno, impidiendo de una manera más efectiva, el crecimiento de la maleza.

Un factor que también debe ser considerado, como positivo en los espaciamientos menores, es una posibilidad mayor de tener una producción más favorable también en la segunda rotación, en el caso de regeneración por monte bajo (rebrotación). Este detalle es de importancia, sobre todo para las especies que presentan problemas de baja sobrevivencia de las cepas con rebrotación, aunque debe señalarse que la mortalidad en este caso se incrementa conforme aumenta la densidad de la población, según el Wattle Research Institute (*op. cit.*), citado por Balloni y Simoes (*op. cit.*).

[13] Van Laar, A. 1961. Eucalyptus saligna in South Africa. An investigation into the silviculture and Economics. pp. 1-110.

La poda natural, factor muy importante en la producción de madera para aserrío, también ocurrirá de manera más rápida en los espaciamientos menores, debido a la competencia más intensa por luz y en consecuencia una muerte más precoz de las ramas inferiores.

El rendimiento de las poblaciones forestales no sólo se influencia por la densidad de la población, sino también por la relacion de la distancia entre hileras o lineas de plantación y la distancia entre plantas de la misma linea, o sea el arreglo topológico, puede influir significativamente en los rendimientos de la plantación. Teóricamente los espaciamientos rectangulares proporcionan para una misma densidad de plantas, mayores rendimientos que arreglos cuadrados.

Wyant (1973) citado por Balloni y Simoes (*op. cit.*), construyó modelos teóricos que le permitieron constatar como el arreglo de las lineas de plantación puede influir en el crecimiento. Los autores citados mencionan también que para un mismo número de árboles por área, los espaciamientos con arreglo triangular llevan cierta ventaja sobre los cuadrados, ya que los primeros utilizaron 90.7 % del espacio disponible y los últimos apenas 78.5 %.

En un trabajo con *Pinus taeda* realizado en Uruguay, en suelos arenosos y a raíz desnuda, donde el suelo fue preparado con un paso de arado y uno de rastra en toda la superficie del experimento y donde se efectuó una poda baja a los seis años de edad.

Los resultados obtenidos (Patiño, 1991)[14], indican para todos los espaciamientos estudiados (2.5 x 2.5 m; 3 x 3 m; 4 x 2 m; 4 x 3 m y 4 x 4 m), una tendencia a disminuir el crecimiento en diámetro, lo que fue constatado al analizar los anillos de crecimiento, aunque debe señalarse que no se encontraron diferencias significativas para área de anillo entre los espaciamientos. Los mayores incrementos medios anuales se obtuvieron en los espaciamientos de 4 x 3 m y 4 x 4 m, con valores de 2.6 cm, siendo ligeramente menores para el resto de los espaciamientos analizados. En lo que toca a la a producción en volumen se observó que el espaciamiento de 3 x 3 m fue significativamente superior a los demás con incrementos medios anuales de 22.21 y 20.28 m^3 por hectárea, para volumen total y comercial, respectivamente. Para la altura total, no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos, obteniéndose una altura media total de 11.31 m.

[14] Patiño V., F. 1991. Informe de la consulturia sobre Silvicultura de plantaciones forestales en Uruguay.

Espaciamiento, diámetro y altura

De acuerdo con la teoría silvícola de crecimiento, el espaciamiento tiene en promedio, mayor influencia en el desarrollo en diámetro que en el crecimiento en altura de los árboles. El aumento en diámetro, en función al aumento en el espaciamiento entre los árboles, ha sido comprobado por numerosos trabajos experimentales desarrollados en las más diversas regiones del mundo. Sin embargo, existen algunas controversias con relación a los efectos del espaciamiento sobre el crecimiento en altura de los árboles. Existen casos donde la altura media aumenta proporcionalmente con el espaciamiento, otros donde el resultado es inverso y algunos donde no existen diferencias. A continuación se comentan resultados de trabajos experimentales donde se obtienen las respuestas antes señaladas.

Díaz et al (*op. cit.*), para *Tabebuia rosea*; Diaz et al (*op. cit.*), para *Tectona grandis*; Bertóni (*op. cit.*), para *Cedrela odorata*; Sánchez y Gómez (*op. cit.*), para *Swietenia macrophylla* y Juárez y Ramírez (*op. cit.*), para *Gmelina arborea*, no encontraron diferencias significativas al comparar el crecimiento en altura y diámetro para las especies estudiadas en las cuatro espaciamientos comunes a todas ellas.

Díaz et al (*op. cit.*) y Bertoni (*op. cit.*), respectivamente, para *Tabebuia rosea* y *Cedrela odorata*, indican la tendencia de que en el espaciamiento más amplio se obtuvieron los promedios más altos de altura y diámetro. Debe señalarse, sin embargo, que las diferencias en alturas y diámetros para las especies citadas son mínimos y no son significativos. Los resultados obtenidos por los autores señalados para el crecimiento en altura y diámetro en los cuatro espaciamientos se puede observar en el cuadro N° 4.

A su vez, Balloni y Simoes (*op. cit.*) verificaron una tendencia de disminución de la altura media de *Eucalyptus grandis* y *E. saligna* a medida en que el espaciamiento era menor; los autores reportan las alturas que se observan en el cuadro N° 5, para *E. saligna*.

Patiño (*op. cit.*) estudió la interacción genotipo x espaciamiento en 169 progenies de *Eucalyptus saligna*, en dos espaciamientos 3.0 x 1.0 y 3.0 x 2.0 m, respectivamente, obteniendo los resultados que pueden observarse en el cuadro N° 6.

El crecimiento en altura obtenido en las progenies presentó un mayor crecimiento en el espaciamiento menor (3.0 x 1.0 m), como puede apreciarse en el cuadro anterior. El incremento medio anual para el crecimiento en altura a la edad de 32 meses, calculado a partir de las medias ajustadas de los tratamientos, alcanzó un valor de 4.02 m para las progenies del espaciamiento de 3.0 x 1.0 m y de 3.95 m para las del espaciamiento mayor.

ESPACIAMIENTOS (m)	2.0 x 2.0		2.5 x 2.5		3.0 x 3.0		3.5 x 3.5		EDAD
ESPECIES	**Altura (m)**	**DAP (cm.)**	**Altura (m)**	**DAP (cm.)**	**Altura (m)**	**DAP (cm.)**	**Altura (m)**	**DAP (cm.)**	**años**
Tectona grandis	4.79	5.89	5.50	7.10	6.72	8.84	5.67	7.59	7
Cedrela odorata	3.45	3.80	3.45	3.70	3.69	3.50	3.60	5.10	5
Tabebuia rosea	3.50	4.30	3.43	4.20	3.75	5.20	3.97	5.50	5
Swietenia macrophylla	1.91		2.00		1.51		1.65		5
Gmelina arborea	9.87	9.10	12.99	12.22	10.55	12.18	10.91	12.99	8

Cuadro N° 4. Crecimiento y diámetro de especies forestales tropicales en cuatro espaciamientos. (C. E. Ing. Eduardo Sangri Serrano, Escárcega, Campeche).

ESPACIAMIENTO (m)	SUPERFICIE (m^2)	ALTURA (m)	COEFICIENTE DE VARIACIÓN (%)	ALTURA DOMINANTE (%)
3.00 x 1.50	4.5	16.9	32	24.6
3.00 x 2.00	6.0	18.3	31	24.3
3.00 x 2.50	7.5	19.2	23	24.8
3.00 x 3.75	11.25	19.4	26	24.7

Cuadro N° 5. Altura media de *Eucalyptus saligna* Smith. a los 74 mese de edad en diferentes espaciamientos (Balloni y Simoes. 1980).

CARACTERÍSTICAS	ALTURA (m)		DIÁMETRO NORMAL (cm)	
ESPACIAMIENTO/ EDAD	3.0 x 1.0 (m)	3.0 x 2.0 (m)	3.0 x 1.0 (m)	3.0 x 2.0 (m)
15 meses	6.98		5.43	
26 meses	10.18	9.78	6.69	7.03
32 meses	10.71	10.53	7.36	7.94

Cuadro N° 6. Crecimiento medio en altura y diámetro de 169 progenies de *Eucalytus saligna* Smith. en dos espaciamientos y tres edades (Patiño. 1986).

Debe señalarse que para obtener el tratamiento del espaciamiento de 3.0 x 2.0 m. fue necesario realizar un aclareo sistemático, sin ninguna selección de los árboles dentro de las parcelas, en las parcelas originales del experimento (todas a un espaciamiento de 3.0 x 1.0 m), esta práctica pudo originar que el crecimiento en las parcelas aclareadas. tuviera un incremento mayor en diámetro que en altura. Lo anterior coincide con lo expresado por Couto (1977)[15], quien señala que la altura media de los árboles es muy

[15] Couto, L. 1977. Influência do espaçamento no crecimento do *Eucalyptus urophylla* de origem hibrida, cultivado na regiao de Coronel Fabriciano, Minas Gerais. Viçosa.

sensible a cualquier tipo de aclareo o mortalidad natural. la tendencia en ese caso, se orienta hacia eliminar los árboles menores de la población. En ese caso. los árboles remanescentes dispondrán de mayor espacio para crecer y en consecuencia se aumentará la tasa de crecimiento en diámetro.

El crecimiento en diámetro siguió la tendencia de presentar mayores crecimientos en el espaciamiento mayor, concordando con los reportes de varios autores (Guimaraes, 1960[16]; Rezende *et al.*, 1980[17]; Coelho *et al.*, 1970[18]; Simoes y Spina França, 1983[19]), en los que se verifica que a espaciamientos mayores corresponden diámetros medios mayores

Evert (1975)[20], en un estudio donde revisa los efectos del espaciamiento en plantaciones con especies propias de clima templado frio. presenta resultados obtenidos por varios autores. donde compara la altura media obtenida a diferentes edades en especies de *Pinus* y *Pseudotsuga*, información que puede observarse en el Cuadro Nº 7.

De acuerdo con la revisión realizada, (Evert, *op. cit.*), la mayoria de los experimentos realizados con *Picea abies*, especies de *Pinus* y otras coníferas mostraron que la altura media del rodal se incrementó en función directa con el aumento del espaciamiento entre árboles. Sin embargo, los mismos autores también señalan que en algunos trabajos los resultados obtenidos permiten conclusiones en sentido opuesto.

Evert (*op. cit.*) señala que el crecimiento en altura de *Pinus resinosa*, es poco afectado por el espaciamiento; sin embargo, ese reducido crecimiento en altura se produjo en sitios secos con altas densidades de población, por ejemplo en espaciamientos de 0.60 x 0.60 m.

Para el caso del estudio de espaciamientos para especies de *Pinus*, García (*op. cit.*), reporta los crecimientos en altura y diámetro que se observan en el Cuadro Nº 8.

---

16 Guimaraes R., F. 1960. Ensaio de espaçamentos em *Eucalyptus saligna* Smith para preoduçao de lenha.
17 Rezende G. C. *et al.* 1980. Novas técnicas de espaçamentos para Eucalyptus spp.
18 Coello, A. S. R.; H. A. Mello y J. W. Simoes. 1970. Comportamento de especies de eucalipto face ao espaçamento. pp. 29-55.
19 Simoes, J. W. y Spina-França. 1983. Produçao de madeira en florestas energéticas sob diferentes prácticas silviculturais. 1-36 p.
20 Evert, J. 1975. Spacing Studies a review.

FUENTE	ESPECIE	EDAD	ESPACIAMIENTO INICIAL										
Autor/ año	Genero/ especie	Años	.6x.6 (m)	1.2x1.2 (m)	1.5x1.5 (m)	1.8x1.8 (m)	2.1x2.1 (m)	2.4x 2.4 (m)	2.7x 2.7 (m)	3.0x 3.0 (m)	3.6x 3.6 (m)	4.2x 4.2 (m)	4.5x 4.5 (m)
Baldwin, 1948	*Pinus resinosa*	12		6.0	5.73	5.76	5.4	5.28				6.18	
Berry, 1969	*Pinus resinosa*	14		6.12	6.72	6.72	6.93	6.7		6.63			
Maeglin, 1967	*Pinus resinosa*	15	4.17	4.8		5.25		4.95					
Schantz - Hansen, 1956	*Pinus resinosa*	40		10.0		11.4	11.04		10.6				
Maeglin, 1964	*Pinus banksiana*	15	6.3	7.2		6.84		6.8					
Box et al, 1964	*Pinus taeda*	11				8.1		7.8	8.1	8.1	8.4		
Harms y Collins, 1965	*Pinus caribaea*	12				10.3		11.0		11.4			11.2
Reukema, 1959	*Pseudotsuga menziessii*	32		11.4	10.8	12.6		14.4		16.8	17.4		

FUENTE: EVERT, 1975

Cuadro N° 7. Alturas medias alcanzadas por especies de *Pinus* y *Pseudotsuga* a diferentes edades en diversos espaciamientos (altura en metros).

ESPECIE	ESPACIAMIENTO	ALTURA	IMAA[1]	DIÁMETRO	MAD[2]
Pinus douglasiana	2.0 x 2.0	5.29	0.91	9.5	1.6
Pinus douglasiana	2.5 x 2.5	4.52	0.78	8.1	1.4
Pinus douglasiana	3.0 x 3.0	4.54	0.78	9.3	1.6
Pinus douglasiana	3.5 x 3.5	4.64	0.80	8.7	1.5
Pinus douglasiana	4.0 x 4.0	4.13	0.71	8.9	1.5
Pinus leiophylla	2.0 x 2.0	4.26	0.73	8.9	1.5
Pinus leiophylla	2.5 x 2.5	3.91	0.67	8.0	1.4
Pinus leiophylla	3.0 x 3.0	3.83	0.66	8.7	1.5
Pinus leiophylla	3.5 x 3.5	3.43	0.59	6.9	1.2
Pinus leiophylla	4.0 x 4.0	3.70	0.64	8.6	1.5
Pinus montezumae	2.0 x 2.0	4.30	0.74	9.1	1.5
Pinus montezumae	2.5 x 2.5	4.25	0.73	9.6	1.9
Pinus montezumae	3.0 x 3.0	3.91	0.67	9.2	1.6
Pinus montezumae	3.5 x 3.5	3.46	0.60	8.1	1.4
Pinus montezumae	4.0 x 4.0	3.62	0.62	9.5	1.6
Pinus pseudostrobus	2.0 x 2.0	5.84	1.01	9.3	1.6
Pinus pseudostrobus	2.5 x 2.5	5.29	0.91	8.7	1.5
Pinus pseudostrobus	3.0 x 3.0	5.09	0.88	8.6	1.5
Pinus pseudostrobus	3.5 x 3.5	4.70	0.81	7.3	1.2
Pinus pseudostrobus	4.0 x 4.0	4.52	0.78	7.5	1.3

1. Incremento medio anual en altura. 2. Incremento medio anual en diámetro.

Cuadro N° 8. Alturas y diámetros medios en especies de *Pinus*, creciendo en cuatro espaciamientos a la edad de 5 años 8 meses (García, 1989).

El mayor incremento anual en altura lo obtuvo *Pinus pseudostrobus* en el espaciamiento de 2.5 x 2.5 m, alcanzando un valor de 1.01 m. Por otro lado, la mayor altura media se obtuvo en el espaciamiento menor siendo el caso contrario a lo obtenido por Balloni y Simoes (*op. cit.*) para *Eucalyptus grandis* y *E. saligna* quienes verificaron una tendencia de disminución de la altura media a medida de que el espaciamiento era menor.

En relación al diámetro, no se observó ninguna tendencia de aumentar en relación directa con el mayor espaciamiento, así, *Pinus montezumae*, en los espaciamientos de 2.5 x 2.5, 3.0 x 3.0 y 4.0 x 4.0 m; *P. douglasiana*, en los de 2.0 x 2.0 y 3.0 x 3.0 m y *P. pseudostrobus* en el de 2.0 x 2.0 m., obtuvieron un incremento medio anual en diámetro (IMAD) que varió entre 1.2 y 1.6 cm.

Espaciamiento, área basal y volumen

Aún cuando el área basal es una función del diámetro, existe una relación inversa entre ésta y el espaciamiento. Normalmente se obtiene una mayor área basal en rodales densos, (menor espaciamiento entre árboles) especialmente en sitios pobres.

Es un hecho conocido el que en poblaciones más densas se produce un mayor volumen total de madera, que en aquellos con menor número de individuos; por otro lado, es también cierto que espaciamientos mayores producen un número más elevado de árboles con mayor volumen individual. Lo anterior es importante ya que a pesar de la producción volumétrica total de madera sea más elevada en poblaciones con mayor número de individuos, el volumen útil puede no sufrir alteraciones al compararlo con el de poblaciones con menor número de individuos.

Schönau (1974)[21], realizó un trabajo donde demostró lo anterior, para *E. grandis*, como puede observarse en el Cuadro N° 9.

Como puede verse, en los espaciamientos menores se produjo mayor volumen, pero de diámetros aprovechables para celulosa o como energéticos, y los diámetros que pueden ser encaminados hacia otro tipo de utilización, permanecieron casi constantes en todos los tratamientos. Es importante observar que las alturas y diámetros normales medios, no variaron significativamente entre los tratamientos.

Lo anterior sugiere que para el caso de plantaciones encaminadas a la producción de materia prima para celulosa y o aglomerados, se debe estudiar la posibilidad de reducir los espaciamientos de plantación, con la finalidad de aumentar la producción de madera de diámetros pequeños que pueden utilizarse para el objetivo señalado o para

[21] Schönau A. P., G. 1974. The effect of planting spacement and pruning on growth, yield and timber density of *Eucalyptus grandis*. pp. 16-23.

energía. sin afectar significativamente el volumen principal de madera de diámetros mayores.

ESPACIAMIENTO INICIAL (m)	ALTURA (m)	DAP (cm)	VOLUMEN (m^3 / Ha) clases de diámetro útiles obtenidos		
			0 a 5 cm.	0 a 7.5 cm	0 a 12.5 cm
3.0 x 2.8	17.6	15.0	118	109	62
2.8 x 2.8	17.7	14.7	127	117	62
2.4 x 2.8	17.3	14.2	138	127	62
2.1 x 2.8	17.9	13.8	152	139	61

Fuente: Schönau (1974).

Cuadro N° 9. Crecimiento medio en diámetro. altura y volumen por clases de diámetro útil. en plantaciones de *Eucalyptus grandis*. con 10 años y 4 meses de edad. bajo diferentes espaciamientos.

Por otro lado. existen casos. para ciertas especies donde el volumen útil llega a aumentar cuando se aumenta el espaciamiento. a pesar de que el volumen total disminuya. Estos casos son más viables a medida que se exigen maderas de longitudes mayores.

Guimaraes (*op. cit.*) para *E. saligna*. Couto (*op. cit.*) para *E. urophylla* y Meskimen y Franklin (1978)[22] para *E. grandis*. verificaron que el área basal media y en consecuencia el volumen medio por hectárea. disminuyeron con el aumento de espaciamiento. En el Cuadro N° 10 se puede observar los parámetros obtenidos por los autores citados en segundo lugar.

En ese sentido Balloni y Simoes (*op. cit.*) afirman que las poblaciones más densas producen más volumen de madera que aquellas menos densas. y que los espaciamientos mayores producen un número más grande de árboles con mayor volumen individual. Señalan también. que aún cuando en las plantaciones con mayor número de árboles. la producción volumétrica total sea mayor. el volumen útil puede no sufrir alteraciones. y se producen mayor cantidad de árboles con troncos de poco diámetro.

De acuerdo a lo observado por Van Laar (*op. cit.*). para *E. saligna*. el volumen útil. de diámetros menores (hasta 7.6 cm.). de los árboles dominados (9 a 12 m de altura). disminuyó al aumentar el número de árboles por hectárea. mientras que el volumen útil

[22] Meskimen. G. y C. Franklin E. 1978. Spacing *Eucalyptus grandis* in Southern Florida. pp. 3-6.

Espaciamiento inicial	Altura media	Diámetro normal (cm.)		Volumen s/ corteza m^3/ha		Altura DAP > 10.24 cm.	
(m)	(m)	medio	DAP > 10.24 cm.	Medio	DAP > 10.24 cm.	Arboles / ha	%
1.2 x 2.5	11.7	8.1	12.2	90 a	54 a	828	29
2.5 x 2.5	12.0	10.2	14.2	72 a	62 a	684	45
3.6 x 2.5	11.6	10.4	14.0	53 a	45 a	541	52
4.9 x 2.5	12.6	12.7	14.7	54 a	52 a	561	72

Fuente: Meskimen y Franklin (1978).

Cuadro N° 10. Crecimiento medio de Diámetro a la Altura de Pecho (DAP), altura y volumen para todos los árboles con DAP mayor de 10.24 cm, en plantaciones de *Eucalyptus grandis* de 7 años y 3 meses de edad, en diferentes espaciamientos.

de las clases de árboles con 12 a 15 m de altura, no fue alterado. Reporta también que el volumen útil de los árboles dominantes (20 a 30 m de altura) aumentó con la disminución del espaciamiento de plantación, considerando los límites de los tratamientos utilizados por el autor.

Estos datos muestran que la adopción de espaciamientos no adecuados para una cierta especie puede resultar en un número excesivo de árboles dominados, los que influyen negativamente en el volumen útil y posiblemente en el volumen total obtenido en la población.

En el Cuadro N° 11 se puede observar la magnitud de la reducción del volumen útil, cuando el número de árboles dominados en la plantación es excesivamente grande, ya que el volumen de leña fina tiene mayor representación en las clases menores de diámetro (DAP). En un ensayo conducido por Guimaraes (*op. cit.*), el autor obtuvo las producciones medias de leña en función al espaciamiento.

ESPACIAMIENTO (m)	SUPERFICIE (m^2)	PRODUCCIÓN DE LEÑA (m^3 / Ha)
1.0 x 1.0	1.00	267.50
1.0 x 1.5	1.50	261.75
1.0 x 2.0	2.00	266.00
1.5 x 1.5	2.25	243.00
1.5 x 2.0	3.00	253.25
1.0 x 3.0	3.00	229.25
1.5 x 2.5	3.75	229.50
2.0 x 2.0	4.00	246.75
1.5 x 3.0	4.50	224.75
2.0 x 2.5	5.00	213.25
2.0 x 3.0	6.00	206.00

Fuente: Guimaraes (1960).

Cuadro N° 11. Producción de leña en función al espaciamiento en *Eucalyptus saligna* Smith, a los 8 años de edad.

Guimaraes (*op. cit.*) señala que para el caso de *Eucalyptus saligna*, existe una tendencia de aumentar la producción de leña cuando disminuye el espaciamiento.

Patiño (*op. cit.*) señala que el volumen, que es la característica más importante para evaluar la productividad forestal, se compone de la expresión de la altura y el diámetro normal de cada individuo en la plantación, por lo que es de esperarse que los árboles de la población tenderán a presentar volúmenes proporcionales a las medias de éstas características. El autor obtuvo resultados en un experimento con 169 progenies de *Eucalyptus saligna*, cuyos crecimientos pueden observarse en el Cuadro Nº 12.

CARACTERÍSTICA	ÁREA BASAL (m^2 / árbol)		VOLUMEN CILÍNDRICO (m^3 / ha)	
ESPACIAMIENTO (m) / EDAD	3.0 x 1.0	3.0 x 2.0	3.0 x 1.0	3.0 x 2.0
26 meses	0.00374	0.00413	135.42	72.03
32 meses	0.00458	0.00531	174.62	99.72

Cuadro Nº 12. Crecimiento medio en área basal y volumen de 169 progenies de *Eucalyptus saligna* Smith (Patiño, 1986)

El área basal y el volumen cilíndrico se expresan como el área basal individual media y el volumen individual medio de las progenies, respectivamente. El incremento en área basal siguió la misma tendencia presentada por el diámetro, incrementándose en función directa del espaciamiento y de la edad. De esta manera, los resultados obtenidos muestran que el área basal individual media fue influenciada por el espaciamiento en las dos edades estudiadas. El área basal media por hectárea disminuyó con el aumento del espaciamiento.

Es importante señalar que aún cuando el área basal individual media sea menor en los espaciamientos más pequeños, considerando el número mayor de árboles, el área individual media será mayor en los espaciamientos más amplios. Los factores que favorecen el crecimiento en diámetro también favorecen el incremento del área basal individual de los árboles, por lo que el incremento del área basal por hectárea va a depender del incremento individual medio y del número de árboles en la plantación.

Considerando la amplitud de la producción en volumen y cuando se compara los dos espaciamientos dentro de una misma edad, se observa una mayor diferencia en el espaciamiento de 3.0 x 2.0 m, esa diferencia alcanza a la edad de 32 meses valores de

56.32 % y de 73.01 % en los espaciamientos de 3.0 x 1.0 y 3.0 x 2.0 m, respectivamente.

Los resultados obtenidos confirman lo expuesto por varios autores (Guimaraes, *op. cit.*; Couto, *op. cit.*; Meskimen y Franklin, *op. cit.*; Balloni y Simoes, *op. cit.*), quienes verificaron en general, que en espaciamientos menores y consecuentemente con mayor número de árboles por hectárea, el incremento en volumen medio por hectárea fue mayor que aquel que se produjo en espaciamientos mayores, que presentan menor número de individuos.

García (*op. cit.*) estudió cuatro especies de *Pinus*, en cinco espaciamientos, en los que reporta resultados que muestran que las poblaciones más densas producen más volumen de madera que aquellas menos densas (Cuadro N° 13).

Espaciamiento y forma de los árboles

El factor de forma, o sea la razón entre el volumen del fuste y el volumen del cilindro que se obtiene con el área basal y la altura, aumenta con la densidad del rodal; en otras palabras la conicidad de los árboles disminuye en la parte baja del fuste (Hamilton y Christie, 1974, citados por Schönau y Coetzee, 1988[23]), estos últimos autores señalan que en un bosque demasiado denso los árboles tienen la tendencia a crecer torcidos y que en cuanto a la calidad de la madera no existen suficientes evidencias que permitan relacionarla con la densidad del rodal.

La conicidad del fuste es una característica que puede ser influenciada por el espaciamiento y que tiene repercusión en la producción real de madera. Larson (1962) citado por Patiño (*op. cit.*) indica que el tronco de los árboles tiene una forma muy compleja y que es función de la especie y de las características de la copa. En las coníferas, cuando los árboles crecen dentro de rodales densos, donde la proporción de la copa viva es relativamente pequeña, la tendencia que presentan es la de tener fustes más cilíndricos que aquellos que se desarrollan aisladamente y cuya copa, de menor tamaño, influye para que el tronco sea más cónico.

[23]Schonau A., P. G. y Cotzee, J. 1988. Initial spacing, stand density and thin in Eucalyptus plantations. 20 p.

Montagna *et al.* (1973)[24] citados por Patiño (*op. cit.*), afirman que a partir de un cierto número de plantas por hectárea hay una tendencia de aumento de la conicidad, con el aumento del espaciamiento. A su vez Van Laar (*op. cit.*) encontró para *Pinus patula*

ESPECIE	ESPACIAMIENTO (m)	ÁREA BASAL m^2 / Ha	VOLUMEN m^3 / Ha	IMAV* (cm)
Pinus douglasiana	2.0 x 2.0	14.71	39.095	6.740
Pinus douglasiana	2.5 x 2.5	6.03	13.624	2.348
Pinus douglasiana	3.0 x 3.0	6.04	14.078	2.427
Pinus douglasiana	3.5 x 3.5	3.84	9.103	2.569
Pinus douglasiana	4.0 x 4.0	2.79	5.926	1.022
Pinus leiophylla	2.0 x 2.0	11.34	24.201	4.172
Pinus leiophylla	2.5 x 2.5	5.87	11.724	2.021
Pinus leiophylla	3.0 x 3.0	5.18	10.082	1.738
Pinus leiophylla	3.5 x 3.5	2.45	4.449	0.767
Pinus leiophylla	4.0 x 4.0	3.34	6.662	1.149
Pinus montezumae	2.0 x 2.0	13.37	28.992	4.999
Pinus montezumae	2.5 x 2.5	10.16	21.656	3.734
Pinus montezumae	3.0 x 3.0	6.16	12.293	2.119
Pinus montezumae	3.5 x 3.5	2.83	5.775	0.996
Pinus montezumae	4.0 x 4.0	3.17	5.775	0.996
Pinus pseudostrobus	2.0 x 2.0	10.72	31.555	5.440
Pinus pseudostrobus	2.5 x 2.5	3.65	9.669	1.669
Pinus pseudostrobus	3.0 x 3.0	3.19	8.199	1.414
Pinus pseudostrobus	3.5 x 3.5	1.81	4.257	0.734
Pinus pseudostrobus	4.0 x 4.0	1.73	3.925	0.676

* Incremento medio anual en diámetro.

Cuadro N° 13. Área basal, volumen medio e incremento medio anual en volumen, en especies de *Pinus*, en cuatro espaciamientos a la edad de 5 años 8 meses (García, 1989).

[24]Montagna R., G. *et al.* 1973. Estudo sobre o crescimento e a densidade da madeira de *Pinus elliottii* Engelm. var *elliottii* em funçao do espaçamento. pp. 33-52.

una disminución del factor de forma que varió de 0.477 con 902 árboles por hectárea. hasta 0.437 cuando la población sólo tenía 124 árboles por hectárea. Lo anterior se tradujo. según el autor. en una disminución de casi 10 % del volumen real de madera.

La conicidad del fuste. representada por el factor de forma. es una característica que puede ser influenciada por el espaciamiento y que tiene efecto sobre la producción real de madera en las plantaciones. Sobre el particular. Evert (*op. cit.*). señala la posibilidad de que las relaciones entre el factor de forma y el espaciamiento sean debidos solamente a un reflejo del efecto del espaciamiento sobre el diámetro normal. por lo que indican que tal vez no sea necesario estudiar el efecto residual del espaciamiento en el factor de forma. Al respecto. Balloni y Simoes (*op. cit.*) comentan que quizás este autor tenga razón. sin embargo. si las interferencias en el factor de forma son producto del reflejo del espaciamiento sobre el diámetro normal. estas alteran el volumen real final. por lo que deben ser consideradas.

Espaciamiento y edad de corta

El espaciamiento y la edad de corta se encuentran estrechamente relacionados. lo anterior significa que las plantaciones establecidas con espaciamientos menores. normalmente exigen aclareos o ciclos de corta en menos tiempo. pues la competencia entre plantas ocurre más temprano. anticipando la disminución del crecimiento de la población. La edad de corta ha sido definida en función del ritmo de crecimiento. del espaciamiento. del objetivo de producción y de algunas interacciones entre los citados factores. dándosele poco énfasis a sus interacciones con la especie.

El porcentaje de árboles dominados y muertos crece conforme avanza la edad. causando consecuentemente un aumento del porcentaje de fallas. lo anterior ocurre con mayor intensidad y más temprano en los espaciamientos menores. En el cuadro N° 14. (Schönau. *op. cit.*). se muestran algunos datos sobre la evolución de la mortalidad en función de la edad. y en el Cuadro N° 15. (Balloni y Simoes. *op. cit.*). se puede observar la evolución del porcentaje de árboles dominados en función a la edad y el espaciamiento de la población.

Se puede apreciar en el cuadro anterior. que conforme la edad del arbolado es mayor y en consecuencia su altura. diámetro y cobertura son también mayores. la tasa de mortalidad se incrementa notablemente.

En el Cuadro N° 15 se puede observar un comportamiento similar y la tendencia de que conforme avanza la edad se incrementa el porcentaje de árboles dominados en la plantación. siendo más acentuados los efectos en los espaciamientos menores.

EDAD		MORTALIDAD	VOLUMEN
AÑOS	MESES	%	m^3 / Ha
2	3	1.9	4.4
2	9	1.9	8.1
4	4	2.6	2.7
5	5	3.6	39.9
6	6	5.6	57.2
7	6	13.4	70.1
9	1	19.6	94.7
10	4	25.0	109.8

Fuente: Schönau (1974).

Cuadro N° 14. Volumen de madera producida y mortalidad de *Eucalyptus grandis* en diferentes edades.

ESPACIAMIENTO	EDAD (años)		
(metros)	4	6	9
3.0 x 1.50	31 %	45 %	57 %
3.0 x 2.00	31 %	37 %	43 %
3.0 x 2.50	13 %	25 %	38 %
3.0 x 3.75	21 %	25 %	35 %

Fuente: Balloni y Simoe (1980).

Cuadro N° 15. Porcentaje de árboles dominados de *Eucalyptus saligna* en función del espaciamiento y de la edad.

Es evidente que una mortalidad más acentuada y un mayor número de árboles dominados puede reflejarse negativamente en el volumen de madera, estabilizando y hasta reduciendo el incremento medio anual.

Los resultados obtenidos por varios autores permiten señalar que la edad de corta varía en función de la especie y del espaciamiento adoptado. De acuerdo con Balloni y

Simoes (*op. cit.*), no es deseable mantener la plantación con el crecimiento estabilizado, y para evitar ese problema se deben realizar cortas de aclareo en las primeras fases de crecimiento.

Dependiendo del espaciamiento de plantación, y consecuentemente del destino final de la madera a producir, y del ritmo de crecimiento de la especie empleada, cuando se utilizan densidades altas (espaciamientos pequeños) se hacen necesarias las cortas en fases mucho más jóvenes, lo que podría traducirse en la salida de grandes cantidades de nutrientes del suelo, disminuyendo su fertilidad y comprometiendo el éxito de futuras rotaciones, además de producir madera de calidad inferior y de requerirse mayores costos para lograrlo, por lo que, cuando se trate de producir madera para aserrío u otro destino similar, no se considera conveniente adoptar espaciamientos pequeños que obliguen a las prácticas silviculturales antes señaladas.

Reflexiones finales

Como hemos podido observar a lo largo de las experiencias relatadas, el espaciamiento representa uno de los factores decisivos para el futuro de la masa e influye sobre las características de crecimiento y sobre la producción.

La mortalidad y el espaciamiento están altamente relacionados, como regla general se puede decir que a menor espaciamiento mayor será la mortalidad y que esta relación se ve afectada por la edad, la especie y las condiciones del sitio.

Los factores abióticos del sitio (climáticos, edáficos y fisiográficos) tienen influencia sobre el crecimiento de la población, por lo cuál deben considerarse para seleccionar el espaciamiento más adecuado, sobre todo aquellos ligados al suelo y al régimen de humedad.

El espaciamiento tiene mayor influencia en el desarrollo en diámetro que en el crecimiento en altura de los árboles. La influencia del diámetro ha sido comprobado por numerosos trabajos experimentales. Sin embargo, los efectos del espaciamiento sobre el crecimiento en altura de los árboles, muestran casos donde la altura media aumenta proporcionalmente con el espaciamiento, otros donde el resultado es inverso y algunos donde no existen diferencias

Las poblaciones más densas producen mayor volumen total de madera que aquellas menos densas; los espaciamientos mayores producen un número más grande de árboles con mayor volumen individual y de mejor forma y dimensiones. El volumen útil de

madera puede ser semejante entre poblaciones con mayor y menor número de individuos.

El aumento de la densidad de la población implica un aumento en los costos de plantación y de manejo. siendo necesario balancear los aumentos de producción con los incrementos del costo.

Las principales consecuencias negativas, de los espaciamientos pequeños, se pueden resumir en un mayor consumo de plantas y fertilizantes por hectárea, así como una mayor dificultad para el control de maleza y de los aprovechamientos, mayor número de cortas de aclareo y una mayor producción de madera de pequeñas dimensiones, entre las más importantes.

El espaciamiento no debe ser rígido para cada especie o sitio, debe decidirse principalmente en función al destino final de la madera a producir y de la calidad de producto que se desea obtener y de su valor económico; para lograr lo anterior se deben analizar factores relacionados con la calidad del sitio, el hábito de crecimiento de la especie, la sobrevivencia esperada, el método de manejo de la masa en el tiempo y en el espacio, la clase de equipo a utilizar en las prácticas culturales, la forma de aprovechamiento, además de las implicaciones económicas de cada uno de los factores enumerados y del efecto de sus posibles interacciones.

BIBLIOGRAFÍA

Balloni, E.A. y Simoes, J.W., 1980. O espaçamento de plantio e suas implicaçoes silviculturais. Serie Técnica. IPEF, Piracicaba 1 (3): 1 - 16

Barret, R.L.; Carter, D.T. y Seward, B.R.T, 1975. *Eucalyptus grandis* in Rhodesia. Rhodesia Bulletin of Forest Research, Salisbury (6): 1-87.

Bertoni, V. R., 1976. Informe Técnico sobre crecimiento de plantaciones forestales de cedro y caoba en el C.E. Ing. Eduardo Sangri Serrano (El Tormento), en Escárcega, Campeche. (Informe Interno no publicado), 8 p.

Coelho A., S. R., H. A. mello y J. W. Simoes. 1970. Comportamento de especies de eucalipto face ao espaçamento. IPEF. Piracicaba (1) : 29-55.

Couto, L., 1977. Influência do espaçamento no crecimento do *Eucalyptus urophylla* de origem hibrida, cultivado na regiao de Coronel Fabriciano, Minas Gerais. Viçosa. UFV. 54 p. Tesis de Maestría.

Diaz, M.E.R.A; Castillo, V.J.C y Jiménez, C.J.M., 1986. Informe Técnico sobre el desarrollo de plantaciones forestales en el C.E. Ing. Eduardo Sangri Serrano (El Tormento), en Escárcega, Campeche. (Informe Interno no publicado). 13 p.

Díaz, M.E.R.A; Castillo, V.J.C y Jiménez, C.J.M., 1993. Informe Técnico sobre el desarrollo de plantaciones forestales de Tectona grandis (Teca), en el C.E. Ing. Eduardo Sangri Serrano (El Tormento), en Escárcega, Campeche. (Informe Interno no publicado). 10 p.

Evans, J. 1992. Plantation forestry in the tropics. 2nd Edition. Claredon Press, UK. 403 p.

Evert, F. 1975. Spacing studies a review. Information report FMR-X-37. Canadian Forestry Service. Dept. of the Environment. Forest Management Institute. 95 p.

Garcia, M.J.J., 1989. Efectos del espaciamiento en el desarrollo de una plantación de cuatro especies de pino en Capacuaro, Michoacán. CIENCIA FORESTAL. INIFAP, SARH. Coyoacán. 65 (14): 18-51.

Guimaraes, R.F., 1960. Ensaio de espaçamentos em *Eucalyptus saligna* Smith para preoduçao de lenha. 2ª. ed. Rio Claro. CPEF. 42 p. (Boletim Nº 6).

Guimaraes, R.F., 1965. Observaçoes sobre diametros, alturas, sobrevivencia e peso de madeira de *Eucalyptus saligna* em varios espaçamentos. Anuario Brasileiro de Economia Florestal, Rio de Janeiro, 17(17): 31-45.

Hamilton y Christie, 1974 (citados por Schönau y Coetzee, 1988)

Hillis, W.E. y Brown, A.G., 1978. *Eucalyptus* for wood production. Melbourne, CSIRO. 433 p.

Juárez, G.V.M. y Ramírez, M.H. 1985. Crecimiento de *Gmelina arborea* L. Roxb. en cuatro espaciamientos. Ciencia Forestal. INIF - SARH. Coyoacán. 56(10): 33 - 49.

Mello, H. do A. et al., 1976. Influencia do espaçamento e da idade de corte na produçao de madeira de eucalipto em solo de cerrado. IPEF. Piracicaba. (13): 143-62.

Meskimen, G. y Franklin, E.C., 1978. Spacing *Eucalyptus grandis* in Southern Florida. Southern Journal of applied forestry. Washington, 1(1): 3-6.

Montagna, R.G. et al, 1973. Estudo sobre o crescimento e a densidade da madeira de *Pinus elliottii* Engelm. var *elliottii* em funçao do espaçamento. Silvicultura em Sao Paulo, Sao Paulo (8): 33-52.

Patiño, V. F. 1986. Variaçao genética em progênies de *Eucalyptus saligna* Smith e sua interaçao com o espaçamento. Piracicaba. ESALQ/USP. 192 p. (Tesis de maestría).

Patiño, V. F. 1991. Informe de la consultoria sobre Silvicultura de plantaciones forestales en Uruguay. (PROYECTO: FAO/ PNUD/URU/90/005). Roma, Italia. 110 p.

Rezende G. C. *et al.* 1980. Novas técnicas de espaçamentos para *Eucalyptus* spp. Aguas Sao Pedro. Simposio IUFRO. 11 p.

Sánchez, M.A. y Gómez, T.J., 1981. Informe Técnico sobre el desarrollo de ocho especies creciendo en plantaciones forestales en el C.E. Ing. Eduardo Sangri Serrano (El Tormento), en Escárcega, Campeche. (Informe interno no publicado), 6 p.

Schönau A., P.G., 1974. The effect of planting spacement and pruning on growth, yield and timber density of *Eucalyptus grandis*. South African Forestry Journal, Johannesburg (88): 16 - 23.

Schönau A., P. G. y Cotzee, J. 1988. Initial spacing, stand density and thin in *Eucalyptus* plantations. En: Actas. Simposio Manejo silvicola del género *Eucalyptus*. Viña del Mar, Chile. COFOP - Inst. For. XV. 20 p.

Simoes J., W. y Spina-França. 1983. Produçao de madeira en florestas energéticas sob diferentes prácticas silviculturais. *In*: Simposio Energía de Biomassa Florestal. Sao Paulo, CESP. pp. 1-36.

Smith, D.M.,1962. The practice of silviculture. 7ª Ed. New York. John Wiley. 578 p.

Van Laar, A., 1961. *Eucalyptus saligna* in South Africa. An investigation into the silviculture and Economics. Annale Universitatet Van Stellenbosh, Stellenbosh, 36(A): 1-110.

Van Laar. A.. 1978. The growth of unthinned *Pinus patula* in relation to spacing. South African Forestry Journal, Johannesburg, (107): 3-11.

Wattle Research Institute. 1972 Handbook on eucalipt growing. Pietermaritzburg. 164 p.

METALES PESADOS EN LOS SUELOS DEL DESIERTO DE LOS LEONES, DISTRITO FEDERAL

Castro Servín Juana Ma.*
González Kladiano Verónica**
Hernández Tejeda Tomás*

RESUMEN

La declinación que presenta actualmente la vegetación forestal del Parque Cultural y Recreativo Desierto de los Leones (PCyRDL), en el Distrito Federal, radica en el suelo puesto que éste juega un papel muy importante durante el desarrollo de dicho fenómeno y en principio, constituye el medio natural de sostén y nutrición de la vegetación. Se han señalado como posible agente causal del deterioro de la vegetación forestal a la contaminación ambiental, producida en la Ciudad de México, y a algunos otros factores tales como: la falta de manejo forestal del bosque y a la excesiva extracción de agua de los mantos acuíferos, entre otros. Debido a la escasa información existente sobre los suelos del PCyRDL, se llevó a cabo un estudio con el fin de determinar el contenido de algunos metales pesados tóxicos y de diversas propiedades químicas del suelo. Se determinaron siete áreas de muestreo de acuerdo con sus características edafológicas y de vegetación. Se realizaron varios muestreos en tres sitios de cada área, a tres diferentes profundidades. Las muestras de suelo se procesaron en el laboratorio de suelos del Centro Nacional de Investigaciones Disciplinarias en Conservación y Mejoramiento de Ecosistemas Forestales (CENID-COMEF) y se analizaron con un equipo de plasma.

Los resultados preliminares indican que las concentraciones más elevadas de metales pesados, a excepción del aluminio, se observaron en la parte más baja del parque y por el contrario, las menores concentraciones de Cu, Zn, Fe, Pb, Cr y Cd, se presentaron en la parte más alta.

* Investigador Titular del CENID-COMEF, INIFAP, SAGDR
** Investigador Titular del CIR-Centro, INIFAP, SAGDR.

Palabras clave: Contaminación de suelos, metales pesados, suelos forestales. Desierto de los Leones, Distrito Federal.

ABSTRAC

The forest decline in the "Parque Cultural y Recreativo Desierto de los Leones" (PCyRDL). Distrito Federal. probably resides in the soil, because it plays a very important role during the development of such phenomenon. and at the same time the soil constitutes the natural way of support and nutrition of the vegetation. It have been point as a possible causal agent of the forest decline to the air pollution generated in México City, and to same other factors such as: lack of forest management and to the excessive water extraction from the park. Due to the lack of information about the soil of the PCyRDL, it was carried out a study with the objective of determinate the content of some toxic heavy metals and some chemical properties of the soils. Seven areas of sampling, according with their soil and vegetation characteristics were determinated. Several soil samples at three sites and three different depths were taken. The soil samples were processed in the soil laboratory of the "Centro Nacional de Investigaciones Disciplinarias en Conservación y Mejoramiento de Ecosistemas Forestales" (CENID-COMEF) and they were analyzed with a plasma equipment.

The preliminar results show that the higher concentrations of heavy metals, excluding the Al, were present in the lower part of the forest park and on the contrary, the lower concentrations of Cu, Zn, Fe, Pb, Cr and Cd, were present in the higher part of the park.

Key words: Soil pollution, heavy metals, forest soils, Desierto de los Leones, Distrito Federal.

INTRODUCCIÓN

Investigaciones científicas sobre el deterioro de recursos forestales aledaños a ciudades, se iniciaron en Europa, particularmente en Alemania, a principios de los años 70, en donde se observó una declinación en varias especies de importancia comercial: *Abies*

alba, *Pinus sylvestris*, *Fagus sylvatica* y *Picea abies* (Alvarado, 1991)[1]. Hinrichson, citado por Alvarado (*op. cit.*), señala que en Hungría, Suecia, Bélgica, Francia, Reino Unido, España e Italia, se presentan áreas de bosque con las mismas características de deterioro que en Alemania. Este fenómeno ha afectado millones de hectáreas en los Estados Unidos de América y Canadá

En México, específicamente en la zona del Ajusco, D. F., la vegetación arbórea presenta daños ocasionados por gases oxidantes (Hernández T. y Bauer, 1982)[2]. En el Desierto de los Leones, D. F.; a partir de 1982, se han observado daños muy severos por oxidantes fotoquímicos en *Abies religiosa* (HBK) Schl. *et* Cham., especie de gran importancia ecológica en la zona sur del Distrito Federal.

Se han buscado las causas del deterioro de la vegetación en factores externos; sin embargo, no se ha considerado la importancia del suelo, siendo éste la fuente natural de sostén y nutrición. Por lo señalado, se juzgó pertinente analizar el contenido de metales pesados tóxicos en el suelo, con el objeto de conocer su relación con la vegetación existente.

La presencia de las masas de aire contaminado, procedentes de la Ciudad de México, pueden considerarse como una de las causas posibles de la declinación y muerte masiva de dicha especie. A su vez, algunos factores secundarios como el manejo forestal inadecuado, la excesiva extracción de agua de los mantos acuíferos y la presencia de plagas y posibles patógenos bióticos, pueden estar actuando de manera sinergística para provocar los síntomas de deterioro.

Las emisiones de metales pesados a la atmósfera provienen de los procesos de combustión que contienen Cr, Cu, Zn, Fe, Al, Cd y Pb, los cuales pueden estar en forma de partículas muy finas y en ocasiones se presentan en forma gaseosa (Pb y Cd). Dichas partículas o aerosoles pueden ser transportados por el viento a grandes distancias. Al depositarse ocurre una disolución parcial o total, permaneciendo adheridos al suelo o en solución con éste.

[1]Alvarado R., D.; L.I. de Bauer y J. Galindo A. 1991. Declinación y muerte del bosque de oyamel en el sur del Valle de México. pp. 123-143.
[2]Hernández T., T. y L. I. de Bauer. 1982. Daños por gases oxidantes en pinos y avena, reconocimiento y evaluación en el Ajusco, D.F. pp. 19-28.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización y descripción del área de estudio.

El Parque Recreativo y Cultural Desierto de los Leones, está ubicado en la Delegación Cuajimalpa, D. F., al suroeste de la Ciudad de México, a una altitud que va de los 2,800 a los 3,800 msnm (Figura N° 1). El clima predominante, según Köppen modificado por Garcia (1981)[3], es templado subhúmedo con lluvias en verano; la precipitación media anual es de 1,324 mm; la temperatura mínima es de 8.4° C y la máxima de 12.7° C; con vientos dominantes del noroeste y noreste, lo que corresponde a un clima C(W2)(b)ig.

Los suelos son profundos, ricos en materia orgánica, de textura franco-arcillo-arenosa a arcillo-limosa; según la clasificación del Intituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), se trata de regosoles éutricos.

La vegetación predominante es: *Abies religiosa* Schl. *et* Cham., *Pinus patula* Schl. *et* Cham., *P. hartwegii* Lindl., *Quercus laurina* HBK, *Q. mexicana* HBK y *Q. microphylla* Neé. Otras especies presentes son: *Prunus serotina* Ehrh ssp. *capuli* (Cav) Mcbaugh., *Alnus firmifolia* Fern., *A. jorullensis* HBK, *Arbutus glandulosa* Mart. & Gal., *Buddleia cordata* HBK y *B. parviflora* HBK.

Trabajo de Campo.

El área de muestreo se definió con base en los mapas edafológico y de vegetación del INEGI. Se determinaron siete áreas de muestreo en las siguientes localidades:

- Convento y Cañada de San Miguel, con una vegetación asociada de oyamel-pino (*Abies religiosa-Pinus* sp.).
- Agua de Leones, Cruz Blanca y Cruz de Coloxtitla, con vegetación predominante de *Abies religiosa*.
- Cruz de Colica, con pinos únicamente, y
- Área Cementerio con una plantación de *Pinus ayacahuite* Ehr., *P. patula* Schl. *et* Cham., *P. radiata* Don. y *P. montezumae* Lam. establecida en 1986.

[3]Garcia, E. 1981. Modificaciones al sistema de clasificacion climática de Köppen.

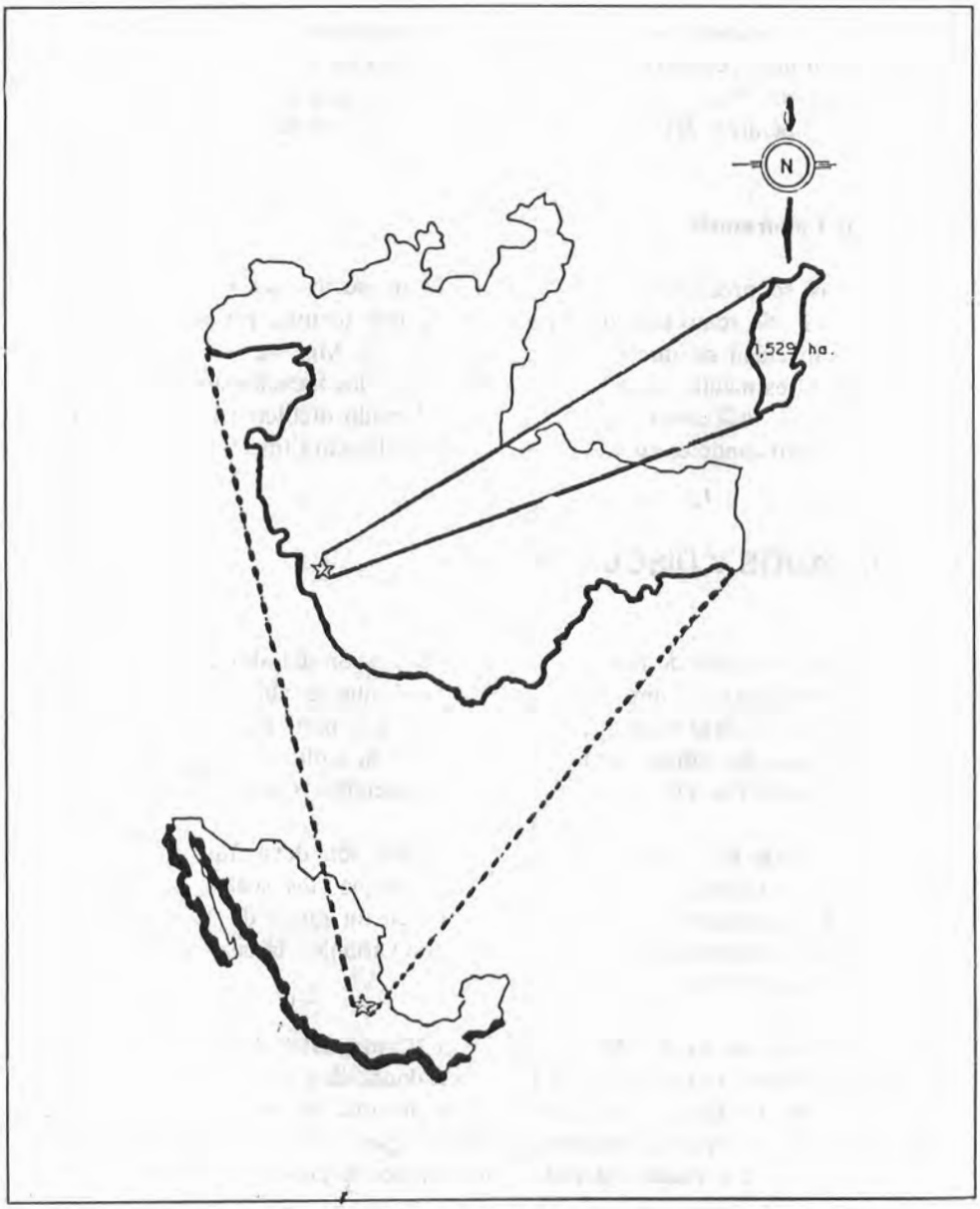


Figura N° 1. Ubicación del área de estudio del Parque Cultural y Recreativo Desierto de los Leones.

En cada área de muestreo se ubicaron 3 sitios en un transecto de 50 metros lineales. ubicándolos al norte. centro y sur. Se obtuvieron muestras de un kilogramo cada una a profundidades de: 0-20. 20-40. 40-60 cm. En cada sitio se tomaron datos de pH. humedad y temperatura del suelo. así como de la exposición del sitio.

Trabajo de Laboratorio

Las muestras se procesaron en el laboratorio de suelos del CENID-COMEF en Coyoacán. D.F. Se realizaron los siguientes análisis: textura. pH. materia orgánica. nitrógeno, capacidad de intercambio de cationes. Ca. Mg. Na. K. con los métodos tradicionales. Los metales pesados se analizaron por los métodos analíticos de Lim y Jackson (1982)[4]. utilizando como extractante el ácido dietilen triamino pentacético (DTPA) y cuantificándolos en un equipo de plasma (Perkin Elmer).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La mayor concentración de metales pesados. a excepción del aluminio. se observó en las áreas denominadas "Convento" y "Cementerio". que se ubican en la parte más baja del parque (2.900 msnm); por el contrario. en la parte más alta (3.600 msnm). que corresponde a los sitios: Agua de Leones. Cruz de Colica. Cruz de Coloxtitla. las concentraciones de Cu. Zn. Fe. Pb. Cr. Cd. fueron menores (Cuadro N° 3).

En la mayoría de los sitios de estudio. los suelos son de textura migajón arcillo arenosa. sin embargo en las partes altas del parque. los suelos son francos. La capacidad de intercambio catiónico se mantuvo en un rango de 35 a 58 meq/100g. Asimismo. las concentraciones de Ca y Mg fueron variables. lo cual no ocurrió con el Na y el K (Cuadro N° 2).

La alta concentración de metales pesados en el "Cementerio". se debe posiblemente a la exposición barlovento del sitio. ya que es ahí donde llegan y se retienen los vientos procedentes de la Ciudad de México. por lo que es posible encontrar altas concentraciones de algunos elementos. como el Fe que es de 153.7 ppm (Cuadro N° 3). El pH ácido es una propiedad química que favorece la presencia de algunos metales

[4]Lim. C. H. *and* Jackson. M. L. 1982. Dissolution for total element analysis. *In*: Page. A. L. *et. al.* (eds.). Methods of soil analysis. pp. 1-12.

pesados (Zn. Fe. Mn. Al) en los suelos. ya que los solubiliza y los hace más tóxicos para las plantas. como se observa en el "Cementerio" (Cuadro N° 1 y Figura N° 2).

SITIO	Uso de suelo (vegetación)	pH (1:2.5)	M.O. (%)	N.T. (%)	C/N
Agua de Leones	Oyamel	5.3	4.9	0.8	3.5
Cruz Blanca	Oyamel	5.9	9.5	0.5	11.8
Cruz de Colica	Pino	5.4	8.2	0.6	8.5
Cruz de Coloxtitla	Oyamel	5.6	6.9	0.4	9.5
Convento	Oyamel-Pino	5.9	4.9	0.3	8.7
Cañada San Miguel	Oyamel-Pino	5.8	4.9	0.5	15.1
Cementerio	Plantaciones	5.7	12.8	0.6	12.5

Cuadro N° 1. pH. materia orgánica (M.O.). nitrógeno total (N.T.) y relación carbono/nitrógeno (C/N) en siete sitios del Parque Cultural y Recreativo Desierto de los Leones. D. F.

Por otro lado. la relación C/N es de moderada a alta. de modo que la proporción mayor se encontró en "Cañada de San Miguel" (15.1%) y "Cementerio" (12.5%). localidades con altitud intermedia. y con vegetación de pino/oyamel y plantación de pino. respectivamente.

La proporción de materia orgánica encontrada en los suelos se debe en parte al tipo de vegetación y/o a la materia orgánica humificada que otorga la acidez al suelo (Cuadro N° 1 y Figura N° 3)

El aluminio es poco soluble en pH ácido: esto puede ser la causa de la cantidad encontrada en el suelo de los sitios estudiados. En pH menores. apreciables cantidades de aluminio. fierro y manganeso. son solubles. tanto más que pueden resultar extremadamente tóxicos para ciertas plantas (Buckman y Brady, 1969).

Cuando las concentraciones de aluminio y fierro son elevadas. exceden grandemente a la de los iones fosfato (PO_4) formando fosfato insoluble. Al disminuir las cantidades de fósforo en el suelo. se puede reducir la división celular y por lo tanto afectar el

SITIO	Textura	C.I.C	Ca	Mg	Na	K
				(meq/100g)		
Agua de Leones	mig-arc-are	35	21.5	0.3	0.3	0.1
Cruz Blanca	mig-arc-are	45	25.7	1.8	0.3	0.2
Cruz de Colica	franco	58	5.3	0.6	0.4	0.4
Cruz de Coloxtitla	franco	36	12.9	0.4	0.2	0.1
Convento	mig-arc-are	35	11.8	1.2	0.2	0.3
Cañada San Miguel	mig-arc-are	47	22.7	3.6	0.3	0.5
Cementerio	mig-arc-are	35	22.8	2.2	0.2	0.3

Cuadro N° 2. Textura, capacidad de intercambio catiónico y valores de calció, magnesio, sodio y potasio de siete sitios del Parque Cultural y Recreativo Desierto de los Leones, D.F.

SITIO	Vegetación	Cu	Zn	Fe	Mn	Pb	Cd	Al
				(ppm)				
Agua de Leones	Oyamel	0.6	4.3	58.4	5.2	7.7	0.1	129.1
Cruz Blanca	Oyamel	1.2	10.4	113.1	30.4	13.1	0.3	71.7
Cruz de Colica	Pino	0.5	7.0	75.8	3.5	8.0	0.1	82.0
Cruz de Coloxtitla	Oyamel	0.2	1.0	24.4	5.3	1.6	0.1	41.9
Convento	Oyamel-Pino	1.0	4.8	97.4	13.1	13.1	0.2	55.2
Cañada San Miguel	Oyamel-Pino	1.0	16.0	163.9	37.9	18.5	0.4	46.8
Cementerio	Plantaciones	1.4	28.3	153.7	59.6	28.2	0.5	35.3

Cuadro N° 3. Concentración de algunos metales pesados en siete sitios del Parque Cultural y Recreativo Desierto de los Leones, D.F.

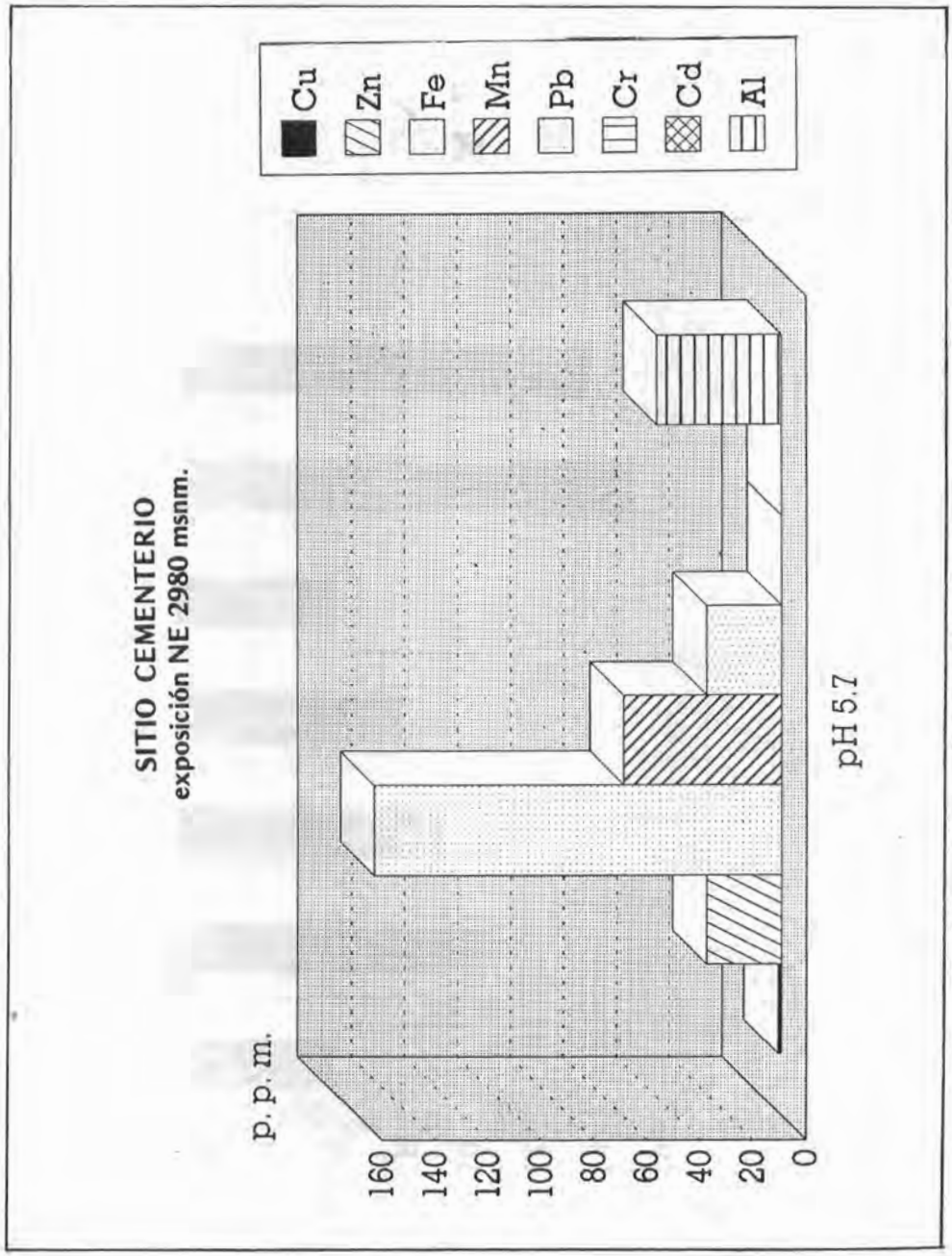


Figura N° 2. Contenido de metales pesados en el suelo.

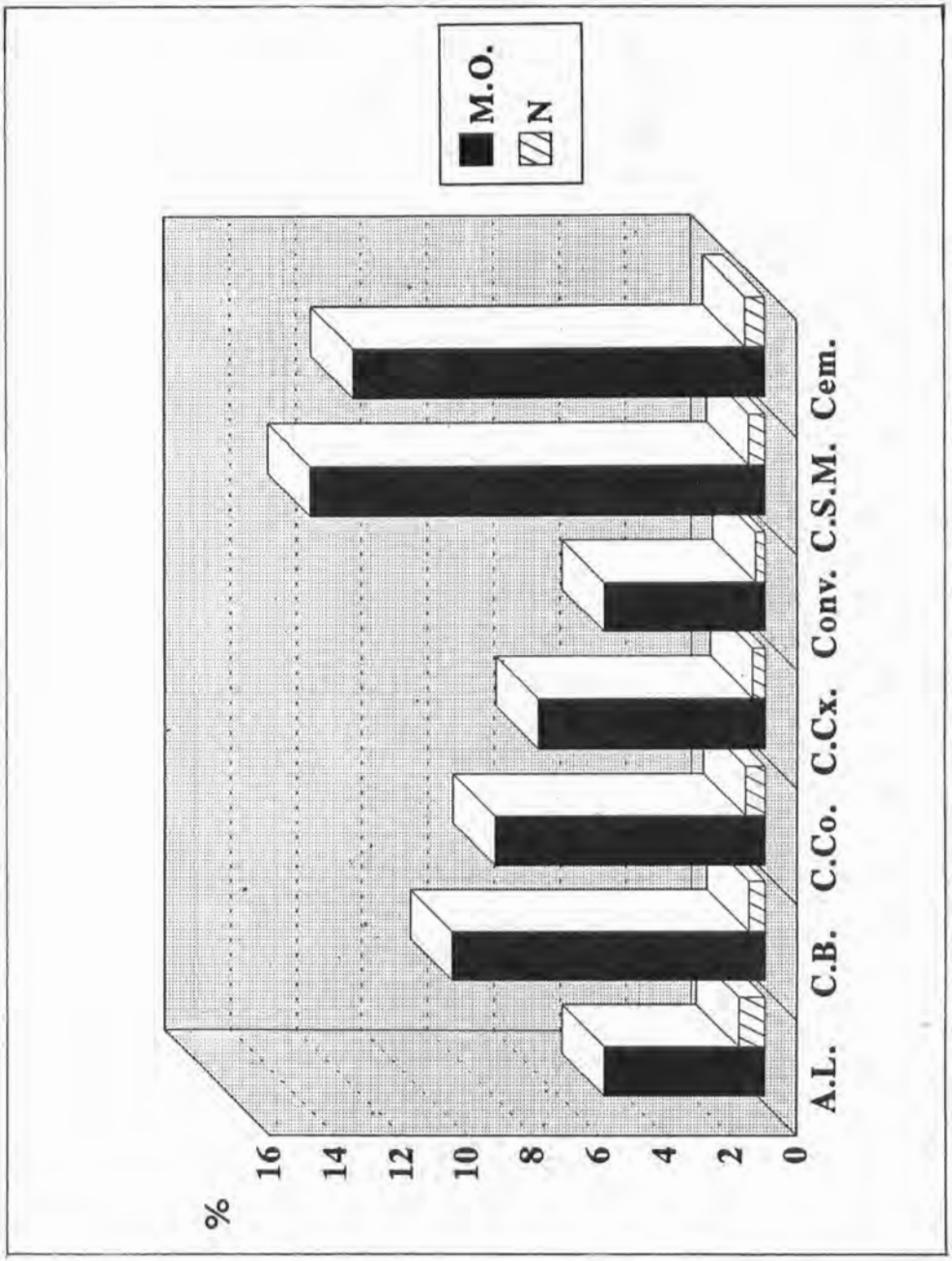


Figura N° 3. Valores de materia orgánica y nitrógeno del suelo en los siete sitios de muestreo.

crecimiento, la floración y fructificación, así como el desarrollo de las raíces, raicillas laterales y fibrosas. Existen muchos factores fisiológicos que intervienen, por lo que es difícil correlacionar con exactitud el crecimiento óptimo de las plantas sobre los suelos (Buckman y Brady, *op. cit.*). Se sugiere hacer más estudios sobre metales pesados para determinar la translocación de elementos en las plantas y su posible fitotoxicidad.

CONCLUSIONES

1. La mayor concentración de metales pesados , a excepción del aluminio, se observó en los suelos de la parte más baja del parque ("Convento" y "Cementerio"). Las menores concentraciones se encontraron en los suelos de las partes más altas ("Cruz Blanca" y "Cruz de Colica").

2. La distancia de la fuente de origen de los contaminantes ambientales, la exposición, la altitud y posiblemente el tipo particular de vegetación del área de estudio, tienen relación con la concentración de metales pesados presentes.

3. Es posible que la cantidad de aluminio encontrada en el suelo se deba a la substitución isomórfica del magnesio.

BIBLIOGRAFÍA

Alvarado R., D.; L. I. de Bauer y J. Galindo A. 1991. Declinación y muerte del bosque de oyamel en el sur del Valle de México. Agrociencia. Serie de Recursos Naturales Renovables 1(2):123-143. México.

Buckman, H. O. *and* N. C. Brady. 1969. The nature and properties of soils. The Macmillan Company. Toronto, Ontario, Canadá. 653 p.

Garcia, E. 1981. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Instituto de Geografía-UNAM. México. 252 p.

Hernández T., T. y L. I. de Bauer. 1982. Daños por gases oxidantes en pinos y avena, reconocimiento y evaluación en el Ajusco, D. F. Revista Chapingo, 33-34:19-28. México.

Lim, C. H. *and* Jackson, M. L. 1982. Dissolution for total element analysis. *In*: Page, A. L. *et al.* (eds.). Methods of soil analysis. Madison, Wisconsin. USA. pp. 1-12.

EFECTO DE LAS QUEMAS PRESCRITAS SOBRE ALGUNAS CARACTERÍSTICAS DEL SUELO EN UN RODAL DE PINO

Flores Garnica José Germán*
Benavides Solorio Juan de Dios*

RESUMEN

La quema prescrita es una herramienta práctica y económica utilizada en la conservación y mejoramiento del recurso forestal. En México, los casos de aplicación de las quemas controladas son pocos, ya que se desconocen los efectos del fuego en los ecosistemas forestales. Por ello el objetivo del presente trabajo fue el de realizar una evaluación para conocer el efecto del fuego en el suelo en un rodal de pino, con la aplicación de quemas controladas, las cuales se llevaron a cabo en la Sierra de Tapalpa, estado de Jalisco. Se definieron seis parcelas de 20 x 30 metros, con tres repeticiones por tratamiento (quema en retroceso y quema a favor). Las quemas se hicieron en marzo de 1991; antes y después de éstas, se tomaron muestras de suelo para evaluar los parámetros físico-químicos siguientes: a) materia orgánica, b) nutrientes (calcio, potasio, magnesio, manganeso, fósforo, nitrógeno nítrico, nitrógeno amoniacal), c) pH, y d) textura. De los resultados obtenidos en el suelo después de las quemas, destacan un ligero aumento de materia orgánica y una leve disminución en los niveles de potasio, fósforo y nitrógeno nítrico, y un aumento de los niveles de calcio. Se señala la influencia de las lluvias en los cambios de textura. Aunque hubo algunos cambios en el suelo, se concluye que no fueron significativos.

Palabras clave: Quemas prescritas, incendios forestales, bosques de pino, *Pinus michoacana*, Jalisco.

* Investigador del Campo Experimental Forestal Colomos, Zapopan, Jal., CIR-Pacífico Centro. INIFAP-SAGDR.

ABSTRACT

Prescribed burn is a cheap and practice tool in order to conservate and improve forest resources. In Mexico there are few cases of use of prescribed burns. This is due to the unknowledge of fire effects in mexican forest ecosystems. Therefore, the subject of this work was to evaluate fire effects in a forest soil when prescribed burns were applied. This work wás carried out in a pine forest, at the Sierra of Tapalpa, Jalisco state, Mexico, where both backing and head fire were practiced. Six sites of 20 x 30 meters were used, corresponding three repetitions for each type of burn. The burns were carried out in March 1991. Before and after burning, soil samples were taken in order to evaluate the effect of fire on: a) organic matter, b) nutrients (calcium, potassium, magnesium, manganese, phosphorus, nitric nitrogen, amoniacal nitrogen), c) pH and d) texture. Among the most importants results, there was a slight increase of organic matter; a slight dimish of potassium, phosphorus and nitric nitrogen; and a increase of calcium. The effect of rain is considerated too. Finally, the conclusion is that, there were not important changes in soil after burns were practiced.

Key words: Prescribed burns, forest fires, pine forests, *Pinus michoacana*, Jalisco.

INTRODUCCIÓN

Los bosques en México han sido y serán una importante fuente de bienes y servicios para el hombre. Pero para obtener su máximo beneficio debe realizarce un programa de manejo para aprovecharlos en forma racional y protegerlos de las constantes agresiones naturales o de las causadas por el hombre. Por ello, se han desarrollado planes de manejo para las condiciones de los bosques mexicanos, con el fin de conservar, fomentar y mejorar el recurso forestal. Aunado a esto se han desarrollado alternativas de apoyo versátiles y económicas, como lo son las quemas prescritas. Estas últimas han tenido gran aplicación en otros países, ya que pueden ayudar a mejorar o a proteger mejor el bosque según los objetivos que se pretendan. Para ciertas especies ayudan al establecimiento de la regeneración natural, en otros casos disminuyen el riesgo de incendios, permiten eliminar vegetación indeseable, etc. Además, la diferencia en costos entre esta práctica y cualquier otra alternativa es considerable.

A nivel mundial se han desarrollado las quemas controladas como una herramienta de apoyo en los planes de manejo forestal. En México los antecedentes al respecto son

muy pocos debido a la escasa difusión de esta técnica, o a la casi nula información de los efectos de las quemas prescritas en los elementos de los ecosistemas forestales mexicanos. La aplicación de quemas prescritas de una manera científica y justificable en los bosques de México, ha sido muy escasa, ya que sólo en los estados de Chihuahua, Durango, Jalisco, México y Michoacán (Toledo, 1988)[1], en el Distrito Federal y en San Juan Tetla, Puebla (Rodríguez, 1994)[2] se han realizado estudios de esta naturaleza, aunque en una escala muy pequeña.

Con base a lo anterior, en la Sierra de Tapalpa, Jalisco, se aplicaron quemas prescritas con el objetivo de hacer una evaluación de sus efectos en algunas propiedades físicas y químicas del suelo. La hipótesis que se plantea es que la aplicación del fuego a bajas intensidades no afecta las propiedades físico-químicas de un suelo forestal.

REVISIÓN DE LITERATURA

Definición de Quemas Prescritas

Sánchez y Zerecero (1983)[3], definieron a una quema controlada o quema prescrita, como la aplicación del fuego en un área determinada, bajo condiciones climáticas conocidas, para la consecución de uno o más objetivos en el manejo de los recursos forestales.

Las quemas controladas han sido desarrolladas desde principios de siglo (1920), y en Estados Unidos de América se empezó a estudiar la utilidad del fuego controlado y sus efectos. Actualmente en muchos países se practican las quemas controladas destacando Estados Unidos de América, Canadá, ex-Unión Soviética, España y algunos países africanos entre otros. En Latinoamérica se realizan de manera operativa en países como Honduras, Venezuela, Chile y Nicaragua principalmente (Hudson y Salazar, 1981)[4]. No obstante en México no han sido utilizadas de manera generalizada en áreas boscosas, principalmente por el desconocimiento de sus efectos y de técnicas prácticas. Por lo que la mayoría de las quemas controladas en bosques se han realizado a nivel experimental, tomando en consideración condiciones ambientales propicias

[1]Toledo, M. R. 1988. Niveles de riesgo en incendios forestales.
[2]Rodríguez T., D.A. 1994. Comunicación personal.
[3]Sánchez C., J. y G. Zerecero L. 1983. Método práctico para calcular la cantidad de combustibles leñosos y hojarasca.
[4]Hudson, J. y M. Salazar. 1981. Las quemas prescritas en los pinares de Honduras.

para su ejecución. el comportamiento del fuego y la reducción de material combustible. No obstante, Rodríguez (*op. cit.*) señala que las quemas prescritas son de uso común en el manejo de agostaderos. especialmente en el norte del país.

Quemas prescritas y efecto en el suelo

A nivel mundial existen varios estudios que tratan sobre el efecto del fuego en el suelo en incendios forestales (Aguirre. 1981)[5]. pero específicamente sobre las quemas controladas. las evaluaciones del efecto en el suelo. principalmente se han desarrollado en los Estados Unidos de América.

El fuego afecta significativamente las propiedades de los suelos especialmente porque la materia orgánica que se encuentra sobre la superficie es quemada muy rápidamente. Los cambios en esta materia orgánica afectan varias propiedades físicas y químicas del suelo. aunque algunos nutrientes se volatizan y se pierden. la mayoría queda con mayor disponibilidad para ser aprovechados por las plantas (St. John y Rundel. 1976. citados por DeBano. 1991)[6].

El fuego actúa como un rápido agente mineralizador. ya que libera nutrientes de forma inmediata en contraste con los procesos normales de descomposición que pueden tardar años y en algunos casos décadas (DeBano. *op. cit.*). Aunque se tengan pérdidas en las cantidades de algunos nutrientes a través del fuego controlado. son insignificantes si se comparan estas cantidades con otras pérdidas ocurridas con incendios descontrolados.

Las características físicas del suelo que son dependientes de la materia orgánica (estructura del suelo y espacios porosos). son afectadas por el calor durante el fuego (Scott y Burgy. 1956)[7]. Pero si el efecto del fuego se combina con la lluvia. se tienen otros efectos acumulativos que pueden observarse en la textura como es la arena. arcilla o limo (DeBano y Conrad. 1976)[8].

El nitrógeno. fósforo y azufre son nutrientes que a bajas temperaturas son rápidamente volatizables (DeBano. *op. cit.*). El nitrógeno es un buen indicador de las pérdidas de nutrientes por volatilización. porque es un nutriente limitante para el crecimiento de las plantas en los ecosistemas forestales. como en chaparrales y también el más

[5]Aguirre, B. 1981. Efecto del fuego en algunas propiedades físicas de suelos forestales.
[6]DeBano, L.F. 1991. "The effect of fire on soil properties". pp. 151-156.
[7]Scott, V.H. *and* R.H. Burgy 1956. "Effects of heat and brush burning on the physical properties of certain upland soils that influence infiltration": pp. 63-70.
[8]DeBano, L. F. *and* Conrad, C.E. 1976. "Nutrients lost in debris and runoff water from a burned chaparral watershed". pp. 3-13 to 13-27.

fácilmente volátil durante el fuego (Dunn *et al.* 1979[9]; DeBano y Conrad. 1978)[10].

La cantidad total de N (nitrógeno) volatizable durante la combustión es directamente proporcional a la cantidad de materia orgánica consumida (Raison *et al.* 1985)[11]. Pero esta relación puede no ser mantenida a bajas temperaturas porque la materia orgánica. puede descomponerse sin la volatilización del N. por lo tanto en estas condiciones. la pérdida de N no es proporcional con la pérdida de materia orgánica (DeBano. *op. cit.*).

El N que no fue volatizado permanece estable en el sitio. disponible como N amoniacal en el suelo. Por lo tanto el N amoniacal dependiendo de la severidad y duración del fuego. puede incrementar su concentración. decrecer o permanecer estable (DeBano. 1991). Cuando el suelo está húmedo durante la quema. el N amoniacal intercambiable se incrementa. pero no ocurre así en un suelo seco (DeBano *et al.* 1977)[12].

El pH también puede influenciar la disponibilidad del N. Por lo general el N nítrico se localiza en suelos ácidos y el N amoniacal se presenta en suelos básicos y neutros (Gigon y Rorison. 1972)[13]. El fósforo responde diferente pero también puede incidir a la baja en una quema controlada. como cuando los combustibles son consumidos totalmente se tiene una pérdida del 60 % del fósforo (Raison *et al.*. *op. cit.*).

El calor del suelo durante un fuego puede afectar los microorganismos responsables de la transformación del N en dos sentidos:

1. Si la temperatura del fuego es demasiado alta para ser letal. puede esterilizar al suelo y retrasar la amonificación y subsecuente nitrificación hasta que el suelo sea nuevamente reinoculado. El proceso de nitrificación parece ser mas sensitivo al disturbio y se recupera lentamente (DeBano. 1974)[14].

2. En el segundo sentido los microorganismos se afectan por la producción de sutratos orgánicos en el humus y el suelo después del fuego. Con lo cual los microorganismos se incrementan y estimulan su crecimiento (Ahlgren. 1974)[15].

---

[9]Dunn. P.H.. L.F. DeBano *and* Eberlein. 1979. "Effects of burning on chaparral soils: II. Soil microbes and nitrogen mineralization". pp. 509-514.

[10]DeBano. L.F. *and* Conrad. C. E. 1978. "The effect of fire on nutrients in a chaparral ecosystem". pp. 489-497.

[11]Raison. R. J.; P. K. Khanna *and* P.V. Woods. 1985. "Mechanisms of element transfer to the atmosphere during vegetation fires". pp. 132-140.

[12]DeBano. L. F.; P.H. Dunn *and* C.E. Conrad.. 1977. "Fire's effect on physical and chemical properties of chaparral soils". pp. 65-74.

[13]Gigon. A. *and* I.H. Rorison 1972. "The response of some ecologically distinct plant species to nitrate and to amonium-nitrogen". pp. 93-102.

[14]DeBano. L.F. 1974. "Chaparral Soils". pp. 19-26.

[15]Ahlgren. I.F. 1974. "The effect of fire on soil organisms". pp. 47-72.

El fuego afecta los microorganismos tan dramáticamente como sucede con el N del suelo (DeBano *et al*, 1979) pero los cambios que involucran los microorganismos ocurren incluso a bajas temperaturas. La esterilización del suelo está muy relacionada con la intensidad del fuego, su duración y el contenido de agua en el mismo, ya que el agua modera el calentamiento del suelo, en un suelo húmedo existe menos perdida de N, pero en bajas temperaturas y suelos húmedos no necesariamente se protegen los microorganismos del suelo (Dunn *et al.*, *op. cit.*).

En México en una zona de bosque, se trabajó en el efecto del fuego en el suelo al aplicar quemas controladas que reportan Sánchez y Dieterich en 1983[16], para un rodal de *Pinus duranguensis*. En este trabajo se evaluó la disminución de los combustibles, probando dos épocas de quema; otoño e invierno. Para evaluar el efecto de las quemas prescritas en el suelo se consideraron los factores siguientes: 1) fósforo, 2) carbonato de calcio ($CaCO_3$), 3) materia orgánica, 4) nitrógeno, 5) pH, 6) color, y 7) textura. Los autores concluyen que las quemas controladas evaluadas no tuvieron efectos significativos en las propiedades físicas y químicas del suelo.

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente estudio se desarrolló en un rodal de la Sierra de Tapalpa, cuyo clima es templado subhúmedo denominado C (W1) (W) (i') g. , con una topografía sumamente accidentada. La vegetación está formada por bosques de pino (*Pinus michoacana*, Martínez) principalmente, pino-encino y pino con otras latifoliadas (Benavides, 1987)[17]. La elección de ésta área de estudio se debió a que reúne características deseables para la utilización de quemas controladas, como lo es el fácil acceso, límites naturales al avance del fuego (arroyo), arbolado con fustes sin ramas en las partes bajas y características similares a esta con otras áreas.

Diseño experimental

Se utilizó un diseño experimental completamente al azar. Los tratamientos correspondieron a cada tipo de quema (a favor y retroceso). Ya que no se contó con

[16]Sánchez C., J. y J.H. Dieterich. 1983. Efecto de quemas controladas en *Pinus duranguensis* en Madera, Chihuahua.

[17]Benavides S., J. de D. 1987. Estimación de la calidad de sitio mediante índices de sitio del *Pinus michoacana cornuta* Martínez y *Pinus oocarpa* Shiede, para el A.D.F. Tapalpa, Estado de Jalisco.

información previa de los parámetros a evaluar, no fue posible estimar el error estandar por unidad de cálculo del número de repeticiones necesarias. Sin embargo, de acuerdo con la homogeneidad de las condiciones del área de estudio (pendiente, vegetación, profundidad de materia orgánica, etc.), se consideró suficiente trabajar con tres repeticiones por tratamiento. También se tomaron en cuenta las limitaciones de seguridad requeridas para la aplicación de las quemas (contar con vías de escape, establecer brechas cortafuego, control de la velocidad de avance del fuego, etc.)

Parcelas experimentales

Para la aplicación de las quemas, así como para la ubicación de las áreas a muestrear, se trabajó con seis parcelas de 20 metros de ancho por 30 metros de largo. Cada parcela correspondió a una repetición de los tratamientos.

Tipos de quema

Se aplicaron dos tipos de quema. La primera se denomina "a favor" y la otra "en retroceso", las cuales van en relación a la dirección que tome el fuego con respecto a la pendiente del terreno o la dirección del viento. La diferencia básica entre estas dos técnicas es referente al comportamiento del fuego y la generación de calor en cada una de ellas. En la quema a favor de la pendiente o del viento, el fuego se desplaza más rápido que en la de retroceso, ya que tiene las condiciones favorables para un desarrollo rápido. De acuerdo con las condiciones del terreno esta proporción puede ser hasta de diez veces.

Época de quema

En esencia las quemas prescritas pueden aplicarse en cualquier época del año dependiendo de los objetivos, sin embargo, éstas deben hacerse dentro de ciertas condiciones de seguridad dadas por la temperatura, humedad relativa, dirección y velocidad del viento. Tomando en cuenta tales consideraciones, las quemas se realizaron el 25 y 26 de marzo de 1991 (época de estiaje). Ambas quemas tuvieron que realizarce a las 7:00 horas, considerando principalmente contar con condiciones permisibles de humedad relativa, preferentemente alta.

Obtención de las muestras de suelo

Una vez ubicadas y delimitadas las parcelas, dentro de cada una se establecieron pequeñas subparcelas, dos por parcela de 3 x 3 metros cada una. En éstas se marcaron los vértices con estacas, con el propósito de tener una referencia y tomar las muestras de suelo en los mismos lugares, antes y después de aplicar las quemas. Las muestras de suelo se tomaron con una barrena a una profundidad de 10 centímetros. Cada muestra se colocó individualmente en bolsas de plástico, con identificación referente al número de parcela, número de subparcela y el vértice al que corresponde.

Análisis de suelos

Para la determinación de la textura referente a cantidades de arena, arcilla y limo, se utilizó el hidrómetro y los resultados se expresan en porcentaje.

Para la materia orgánica, el método usado fue el de Walkley-Black, con los resultados también expresados en porcentaje.

Para el análisis de los nutrientes como son el calcio y potasio los resultados se expresaron en Kg/Ha, y para el magnesio, manganeso, fósforo, N nítrico y N amoniacal, el método usado fue el de Morgan con los resultados expresados en ppm (partes por millón).

Análisis estadístico

El análisis de los datos se hizo a través de un diseño experimental completamente al azar, en el que se compararon dos tratamientos: A) datos antes de la quema y B) datos después de la quema, donde se analizaron por separado cada uno de los datos de nutrientes y las características físicas del suelo.

Bajo el mismo diseño experimental se realizó otro análisis en el que los tratamientos probados fueron 1) la quema a favor y 2) la quema en retroceso. Estos análisis se llevaron a cabo con información obtenida después de realizada la quema. Esto con la finalidad de observar los efectos que hubo en el suelo y su diferencia estadística en los dos tipos de quema.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Comportamiento del fuego

En el desarrollo de las quemas el comportamiento del fuego tuvo variaciones considerables en ambos tipos de quemas. En lo que respecta a las quemas en retroceso el comportamiento fue el siguiente: la velocidad de propagación del fuego fue de aproximadamente 24 m/hora. El viento se presentó sólo en pequeñas rachas de 3 Km/hora. La altura promedio de la flama de la quema fue de 0.5 m, lo cual representó una intensidad de calor baja.

La quema en avance resultó más intensa que la de retroceso y la velocidad de propagación fue de casi diez veces mayor, la velocidad fue de 276 m/hora, influida por un viento constante. La velocidad promedio del viento fue de 5.5 Km/hora. La altura de la flama alcanzó hasta 5 m, y en promedio fue de 1.5 m.

Complejo de combustibles

Antes y después de las quemas se evaluó el material combustible, fino, liviano y grueso. El combustible fino se infirió a una hectárea, con base en el contenido de material en una superficie de 1 m^2, por cada parcela. El combustible grueso se estimó a través del método desarrollado por Brown (Sánchez y Zerecero, *op. cit.*). En las parcelas donde se practicó la quema en retroceso, el material combustible inicial fue en promedio, el siguiente: fino 41.3 Toneladas métricas (Tm)/Ha, liviano 1.0 Tm/Ha, y grueso 13.75 Tm/Ha (Figura N° 1).

Después de la quema, el material combustible fue el siguiente: fino 0.0 Tm/Ha, liviano 0.24 Tm/Ha y grueso 1.38 Tm/Ha. En las parcelas con quema en avance antes de la quema se tuvieron las cantidades siguientes: fino 36.0 Tm/Ha, liviano 0.79 Tm/Ha y grueso 53.34 Tm/Ha; después de la quema, los combustibles se estimaron en: fino 0.5 Tm/Ha, liviano 0.23 Tm/Ha y grueso 27.45 Tm/Ha.

Cambios en el suelo.

La respuesta del suelo a la aplicación de quemas controladas varió de acuerdo al factor evaluado. En la Figura N° 1 se presentan los porcentajes en que se modificaron los niveles originales de cada factor. A continuación se señalan los cambios más relevantes que se presentaron.

Materia orgánica. Con base en el Cuadro N° 1. el incremento en materia orgánica no fue estadísticamente significativo. La presencia de materia orgánica se vio afectada por el fuego. En este caso hubo un ligero incremento en su porcentaje (Figura 1 y Cuadro 1). Lo cual se debe a que al quemarse el material combustible. las cenizas resultantes aportan esa cantidad extra. De acuerdo con lo que reportan Wells *et al.* (1979)[18], se esperaba una mayor aportación de materia orgánica, principalmente porque fueron de baja intensidad. Pero. se tuvo una influencia grande que se considera en este caso. que puede atribuirse a la presencia de lluvias, las cuales se presentaron antes de la segunda toma de muestras, por lo que se tuvo un acarreo de cenizas que influyó en los aportes al suelo.

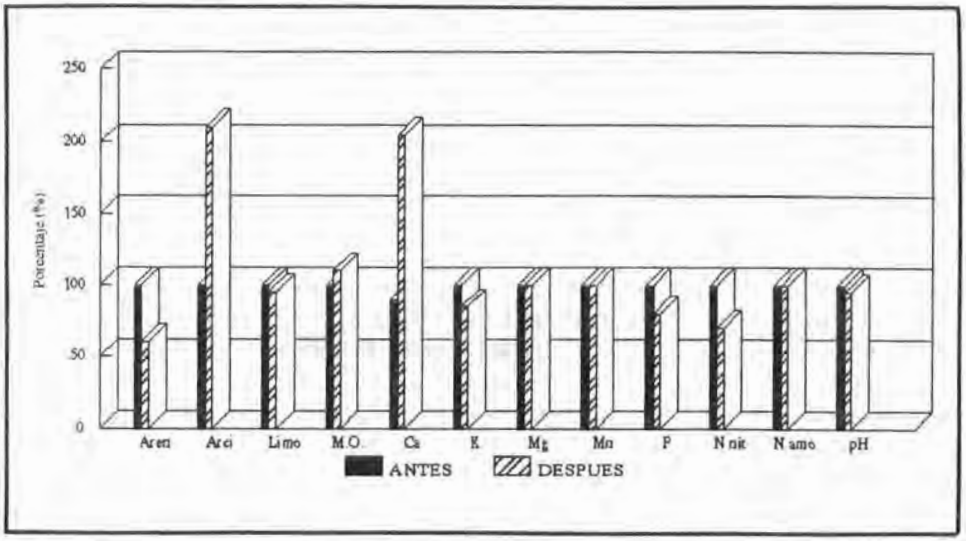


Figura N° 1. Efecto del fuego en los factores evaluados del suelo.

Nutrientes. De acuerdo con Komarek (1967)[19], DeBano, (*op. cit.*) y Spurr y Barnes (1982)[20], uno de los primeros cambios en el suelo, debido al efecto del fuego, es la pérdida de cantidades sustanciales de nutrientes importantes para las plantas. Sin embargo, en las quemas prescritas practicadas en este trabajo, se estimó que unas

[18]Wells, C.G.; R.E. Campbell; L. F. de Bano; C.E. Lewis; R.L. Fredrisksen; E.C. Franklin; R.C. Froelich and P.H. Dunn. 1979. Effects of fire on soil: A state-of-knowledge review.
[19]Komarek, E. U. 1967. Fire and ecology of man.
[20]Spurr, H. y Barnes, B. 1982. Ecologia Forestal.

generaron una baja intensidad de calor (retroceso) y en otras su propagación fue rápida y de más intensidad (a favor). Lo anterior implicó (Cuadro N° 1). un efecto leve en la mayoría de los nutrientes del suelo.

En relación al fósforo, el fuego tuvo en promedio, el mismo efecto tanto en las parcelas con quemas a favor, como en las de quemas en retroceso. En ambos casos hubo una disminución de los niveles de este elemento (Cuadro N° 1). Esto concuerda con lo que reportan Vlamis y Gowans (1961) y White *et al.* (1973) (Citados por Wells *et al.*, *op. cit.*), así como Sánchez y Dieterich (*op. cit.*, 1983) para quemas en otoño. Sin embargo con base al Cuadro N° 1, los cambios que corresponden a las quemas a favor tuvieron una significancia estadística al 5 %. Esto debido probablemente a que se requieren intensidades de calor moderadas para sufrir pérdidas de este elemento (DeBano. 1991) y las quemas en retroceso son de menos intensidad que las de a favor.

CARACTERÍSTICAS	ANTES DE LA QUEMA		DESPUÉS DE LA QUEMA		SIGNIFICANCIA (%)	
	RETRO	AVANCE	RETRO	AVANCE	RETRO	AVANCE
Arena %	41.4	54.1	30.2	29.9	0.7	0.1
Arcilla %	28.9	7.0	36.8	39.5	0.3	0.1
Limo %	29.6	36.1	32.3	30.6	28.0	0.2
M.O.	6.9	6.0	7.5	7.5	97.9	10.2
Calcio kg/ha	500	840	840	1,100	17.0	59.5
Potasio kg/ha	170	440	170	330	59.3	0.4
Magnesio ppm	12	12	12	12	*	37.6
Manganeso ppm	5	5	5	5	*	*
Fósforo ppm	25	25	12	12	1.7	2.3
N Nítrico ppm	3	6	3	3	*	4.9
N Amoniaco ppm	12	12	12	12	*	20.4
pH	6.2	6.2	6.3	6.5	62.8	13.2

* No hubo cambios

Cuadro N° 1. Cambios en un suelo forestal debido al efecto del fuego en quemas prescritas y la significancia estadística.

El nitrógeno es el elemento más sensible a los cambios causados por el efecto del fuego, sin embargo no siempre responde igual a una disminución en sus niveles de concentración ya que está afectado por la intensidad del fuego y su duración, si es un

suelo seco o si está húmedo (DeBano *et al.*, 1977). En referencia a los resultados obtenidos de este elemento en las quemas el N nítrico se mantuvo constante en las parcelas correspondientes al tratamiento de quemas en retroceso. Sin embargo existió una disminución estadísticamente significativa en las parcelas de quemas a favor. También para el N amoniacal existió una pérdida pero no fue significativa (Cuadro N° 1), ya que este elemento dependiendo de las características del fuego puede permanecer estable, decrecer o aumentar (DeBano,1991) y por lo general en un suelo seco como en este caso disminuye su concentración (DeBano *et al*, *op. cit.*). También el efecto del fuego en los nutrientes es más grande en suelos arenosos que en los arcillosos (Tryon, 1978; citado por Wells *et al. op. cit.*), lo cual está relacionado porque los suelos del área de estudio son arcillosos (Gómez-Tagle y Chávez, 1984)[21] (*cfr.* Revista Ciencia Forestal N° 9).

El calcio manifestó un ligero incremento para los dos tipos de quema, lo cual probablemente sea resultado directo de la combustión de las trozas, ramas y hojarasca, que corresponde con lo que señalaron Wells *et al.* (*op. cit.*) en 1979. Este incremento fue significativo estadísticamente solo en las parcelas con quema en retroceso. Se esperaba que este aumento de calcio pudiera influir en el pH del suelo, sin embargo permaneció sin cambios significativos. Para que el calcio (resultante de una quema) se incorpore al suelo solo se requiere de la presencia de humedad. (Figura N° 1 y Cuadro N°1).

El potasio manifestó una reducción después de la quema (Figura N° 1), lo cual está relacionado con lo que reportan Wells *et al.*, (*op. cit.*). Esta reducción solo fue estadísticamente significativa para las parcelas con quemas a favor (Cuadro N° 1). La diferencia en la respuesta, entre los dos tipos de quema, se debe a que en las quemas a favor el calor generado fue más intenso que en las quemas en retroceso, en una proporción de 1:5 (de acuerdo a la altura de las flamas generadas en cada caso). Pero son necesarios estudios más específicos para corroborar esto último.

Los niveles de magnesio y manganeso, en el suelo permanecieron inalterables, lo cual concuerda con lo que reportaron Scotter en 1964 y Christensen en 1976 (citados por Wells *et al.*, *op. cit.*), ya que estos elementos son los más estables y solo son afectados a temperaturas muy altas arriba de 1,000 °C (DeBano, 1991).

En cuanto a las condiciones físicas del suelo, las quemas prescritas no lo afectaron

[21]Gómez-Tagle, A. y Y. Chavez, H. 1984, Aplicación de criterios de agrología forestal al estudio de los suelos de los bosques de la zona oeste de Tapalpa, Jalisco.

directamente. El efecto fue indirecto, ya que al descubrirse la superficie del suelo se expuso a la erosión por lluvia. El arrastre de suelo, debido a la lluvia, alteró los porcentajes de texturas (DeBano y Conrad, *op. cit.*). Para futuras aplicaciones de quemas prescritas, se debe tomar en cuenta el efecto que pueden causar las lluvias en las pérdidas de nutrientes, evaluando diferentes épocas de aplicación de las quemas. Sin embargo es importante considerar que algunas investigaciones han comprobado los efectos de la lluvia resultan insignificantes si se comparan con los efectos de los incendios (DeBano y Conrad, *op. cit.*).

Textura. Antes de analizar los efectos en la textura, es importante considerar que Wells *et al.*, (*op. cit.*), señalaron que la mayoría de los estudios indican que el fuego necesita ser muy intenso para provocar efectos directos en la estructura del suelo. Sin embargo, si el fuego es severo puede remover la capa de mantillo, dejando el suelo mineral expuesto a la erosión.

El cambio más notable en la textura fue la reducción del porcentaje de arena, el cual fue más marcado en las parcelas con quema a favor. Esta reducción fue significativa para ambos tipos de quemas. Como consecuencia de lo anterior los niveles de arcilla se incrementaron. Lo cual fue más marcado en las parcelas con quemas a favor. Por último, aunque el porcentaje de limo diminuyó, esto fue estadísticamente significativo solo para las parcelas con quemas a favor (Cuadro N° 1 y Figura N°1).

pH. Aunque hubo un aumento en los niveles de pH (Figura N° 1), de acuerdo con el Cuadro 1, éste permaneció prácticamente igual antes y después, para los dos tipos de quema. Esto se relaciona con lo que reportaron Sánchez y Dieterich, *op. cit.* (1983).

CONCLUSIONES

1. Las quemas prescritas no tuvieron efectos significativos en la mayoría de los nutrientes, sin embargo es importante considerar que algunos elementos (potasio) son afectados por el fuego, si la intensidad es de moderada a fuerte, como ocurre con las quemas a favor. El contenido de elementos importantes como el nitrógeno y el fósforo sufrieron algunos cambios, sin que esto implique que se afecte la fertilidad del suelo. El contenido de N nítrico solo se vio muy levemente afectado en la quema a favor. En contraparte el suelo recibió aportes de calcio como resultado probablemente de las cenizas producidas por las quemas. Respecto a esto último, son necesarios estudios específicos que evalúen el efecto del aumento de calcio en factores como la vegetación. microorganismos del suelo, micorrizas, etc.

2. Respecto a los contenidos de materia orgánica, éstos no fueron afectados por las quemas prescritas. Aunque hubo un ligero aumento en su porcentaje, éste no fue significativo. Aqui también se debe considerar el efecto de las lluvias, las cuales lavaron parte de la materia orgánica aportada en las cenizas de los residuos. Siendo la materia orgánica un elemento importante en los suelos forestales, de acuerdo con los resultados del presente estudio, se encuentra en cantidades disponibles un poco más altos que antes de la quema.

3. Los cambios más notables se observaron con respecto a las quemas a favor, los cuales conforme a la altura de las llamas generadas, se consideraron más intensas que las quemas en retroceso.

4. El contenido de arcilla y de calcio en el suelo fueron los que presentaron mayor variación en relación con los otros elementos.

5. De acuerdo con los resultados del presente estudio, se deducen dos fuentes de variación en las condiciones físico-químicas analizadas. La primera, objeto de este estudio es el fuego y la segunda fue la lluvia. Aunque para aportar resultados concluyentes para esta última se hace necesario evaluar su efecto en combinación con el fuego y con muestras periódicas, sobre todo para analizar nutrientes y textura del suelo.

6. Otra fuente de variación es la propia naturaleza del suelo, pues especialmente sus propiedades quimicas pueden cambiar somera o marcadamente de una muestra con respecto a otra, ambas tomadas en el mismo momento pero a algunos centímetros de distancia.

7. Debido a que se consideró que la lluvia tuvo repercusiones en los resultados del presente trabajo. Se sugiere la aplicación de quemas y la evaluación de sus efectos en diferentes épocas del año. Lo cual permitirá evaluar más específicamente el efecto de las quemas, sin la repercusión de factores tan fuertes como la lluvia.

BIBLIOGRAFÍA

Aguirre, B. 1981. Efecto del fuego en algunas propiedades físicas de suelos forestales. Universidad Autónoma Chapingo. Departamento de Enseñanza, Investigación y Servicio en Bosques. Publicación Especial. Chapingo, México. 73 p.

Ahlgren, I.F. 1974. "The effect of fire on soil organisms". *In*: Fire and ecosystems. Academic Press, New York. pp. 47-72.

Benavides S., J. de D. 1987. Estimación de la calidad de sitio mediante índices de sitio del *Pinus michoacana cornuta* Martínez y *Pinus oocarpa* Shiede, para el A.D.F. Tapalpa, Estado de Jalisco. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo. División de Ciencias Forestales. Chapingo, México. 80 p.

DeBano, L.F. 1974. "Chaparral Soils". *In*: Symposium on living with the chaparral. University of California. Riverside. pp. 19-26.

DeBano, L. F. *and* C.E. Conrad. 1976. "Nutrients lost in debris and runoff water from a burned chaparral watershed". *In*: Proceedings of the Third Fed. Inter-Agency Sedimentation Conference, March; Denver CO. Conf. Washington, DC. U.S.A. Water Resource Council: pp. 3-13 to 13-27.

DeBano, L. F.; P.H. Dunn *and* C.E. Conrad,. 1977. "Fire's effect on physical and chemical properties of chaparral soils". *In*: Proceedings of the Symposium on the Environmental Consequences of fire and Fuel Management in Mediterranean Ecosystems. General Technical Report WO-3. Washington D.C.: U.S. Departament of Agriculture, Forest Service. pp. 65-74.

DeBano, L.F. *and* C.E. Conrad. 1978. "The effect of fire on nutrients in a chaparral ecosystem". Ecology. Vol. 59(3): 489-497.

DeBano, L.F. 1991. "The effect of fire on soil properties". *In*: Proceedings-management and productivity of Western Montane Forest Soils. Forest Service. Intermountain Research Station. General Technical Report INT-280. Odgen, UT. pp. 151-156.

Dunn, P.H.; L.F. DeBano *and* Eberlein. 1979. "Effects of burning on chaparral soils: II. Soil microbes and nitrogen mineralization". Soil Sci. Soc. Am. J. 43:509-514.

Gigon, A. *and* I.H. Rorison. 1972. "The response of some ecologically distinct plant species to nitrate and to amonium-nitrogen". J. Ecology. 60:93-102.

Gómez-Tagle, A. y Y. Chávez, H. 1984. Aplicación de criterios de agrología forestal al estudio de los suelos de los bosques de la zona oeste de Tapalpa, Jalisco. Revista Ciencia Forestal No. 9. Vol. II. Mexico, D.F. 25 p.

Hudson, J. y M. Salazar. 1981. Las quemas prescritas en los pinares de Honduras. Escuela Nacional de Ciencias Forestales, Serie Miscelanea No. 1. Siguatepeque, Honduras.

Komarek, E. U. 1967. Fire and ecology of man. *In*: Proc. Tall. Timbers Fire. Ecology conference No. 6. Tallahassee. Florida, U.S.A.

Raison, R. J.; P. K. Khanna *and* P.V. Woods. 1985. "Mechanisms of element transfer to the atmosphere during vegetation fires". Canadian Journal of Forest Research. 15:132-140.

Rodríguez T., D.A. 1994. Comunicación personal.

Sánchez C., J. y H.J. Dieterich. 1983. Efecto de quemas controladas en *Pinus duranguensis* en Madera, Chihuahua. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales. Nota Técnica No. 9. PR-05. Centro de Investigaciones Forestales del Norte. Chihuahua, México. 9 p.

Sánchez C., J. y G. Zerecero L. 1983. Método práctico para calcular la cantidad de combustibles leñosos y hojarasca. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales. Nota divulgativa No. 9. CIFONOR. 15 p.

Scott, V.H. *and* R.H. Burgy. 1956. "Effects of heat and brush burning on the physical properties of certain upland soils that influence infiltration". Soil Sci. 82:63-70.

Spurr, H. y B. Barnes. 1982. Ecología Forestal. AGT. México, D.F. 690 p.

Toledo, M. R. 1988. Niveles de riesgo en incendios forestales. (Inedito).

Wells, C.G.; R.E. Campbell; L. F. de Bano; C.E. Lewis; R.L. Fredrisksen; E.C. Franklin; R.C. Froelich *and* P.H. Dunn. 1979. Effects of fire on soil: A state-of-knowledge review. U.S.D.A. Forest Service. General Technical Report WO-7. Washington, DC. U.S.A. 34 p.

ANÁLISIS DE LA VARIABILIDAD DE LAS CARACTERÍSTICAS DENDROEPIDOMÉTRICAS DEL CAMPO EXPERIMENTAL FORESTAL "BARRANCA DE CUPATITZIO".

Madrigal Huendo Salvador*

RESUMEN

En el presente trabajo se analizó la variabilidad de las características dasométricas y su posible relación con las propiedades físico-químicas de cada uno de los tipos y fases de suelo localizados en el Campo Experimental Forestal "Barranca de Cupatitzio", con la finalidad de encontrar algunas explicaciones del comportamiento de las masas forestales, en cuanto a: composición, densidad, estructura diamétrica e incremento en área basal de las diversas condiciones del bosque.

Se determinó analíticamente la relación posible entre las propiedades del suelo y las características de la masa. En el análisis de los datos se utilizaron valores medios, lo cual no es muy recomendable ya que posiblemente se pierde información en la explicación lógica de los modelos de predicción resultantes. Sin embargo, no fue posible utilizar información más detallada.

En general, los resultados evidencían la existencia de masas puras de pino de dos pisos en los suelos areno-migajosos y migajón-arenosos; en el primero denominado *Pinus lawsonii* y en el segundo *P. douglasiana*. Los suelos arenosos y gravoso discontinuo (mal país) se encuentran habitados por dos poblaciones, una de *Pinus* spp., que constituye el primer piso, y otra de *Quercus* spp., que se encuentra en un estrato inferior.

* Ingeniero Agrónomo Especialista en Bosques, M. C. Investigador Titular del CIR-Pacífico Centro, INIFAP, SAGDR.

Con base en lo anterior, se concluyó que las propiedades químicas del suelo no son determinantes en la caracterización de las masas forestales, en tanto que las propiedades físicas sí son determinantes; por lo que se sugiere realizar estudios de esta índole utilizando las condiciones del lugar de estudio, tales como: pendiente, exposición, altitud, posición topográfica, y las propiedades físicas del suelo que sean fácilmente medibles, como son: impregnación de materia orgánica, textura al tacto, color, etc.

Palabras clave: Análisis de variabilidad, características dasométricas, suelos forestales, masas forestales, Barranca de Cupatitzio.

ABSTRACT

The variability of forest measurement characteristics was analized and its plausible relation with the physical and chemical properties of each phase of the types of soil detected at the Barranca de Cupatitzio Forest Experimental Station in the Mexican state of Michoacán; the purpose of this study was to find some explanation of the behavior of the woods in regard to: floristic constitution, forest density, diametric structure and basal area increment at different ecological conditions.

Through a quantitative approach, the relationship between the properties of soil and the features of the forests was determined. In order to practice the statistical analysis, average numbers were considered, a condition not very convenient since some precise information necessary for a logical explanation of the resulting models migh be lost. In spite of this, it was not possible to use more detailed information.

Results show the existence of pure pine masses in two layers, upon the sandy-loam and loamy-sand soils; the first consisted of *Pinus lawsonii* and the second, of *Pinus douglasiana*. The sandy and rocky soils (Known as "mal país") support two populations, *Pinus* spp., present in the upper layer, and *Quercus* spp. in the lower layer.

Analysis of results made it possible to conclude that the chemical properties of the soil do not influence the forest mass, while the physical properties are important. Thus, it is suggested that that broader research in these aspects be carried out, and that they

include ecological factors present in the study area such as: slope, exposure, altitude, topographical position, and the physical properties of soil that can easily be measured.

Key words: Analysis of variability, forest measurement characteristics, forest soil, forest mass, Barranca de Cupatitzio.

INTRODUCCIÓN

La variabilidad de las condiciones topográficas presentes en muchas regiones del estado de Michoacán han dado origen a un número abundante de ecotipos forestales. Sobre todo porque tales condiciones son prácticamente invariables a través del tiempo y están determinas por las condiciones edáficas y climáticas, así como por factores bióticos, por lo que se supone que algunas características del suelo son las que determinan la presencia de varios tipos y asociaciones vegetales, y que la respuesta de algunas variables edáficas, tanto físicas como químicas, está asociada con la respuesta de algunas variables dasométricas.

De resultar cierto lo anterior, sería posible estimar algunas características dasométricas a partir de propiedades físico-químicas del suelo y viceversa. Siempre que la consistencia de las estimaciones evidenciara relaciones de tipo causal más que casual.

Bajo la consideración anterior, en el presente trabajo se plantea el análisis y la caracterización de las masas forestales por tipo y fase de suelo existentes en el Campo Experimental Forestal (C.E.F.) "Barranca de Cupatitzio", en términos de densidad (el número de árboles y área basal) e incremento periódico anual en área basal.

El objetivo específico es analizar la composición, estructura diamétrica y densidad en área basal y número de árboles por hectárea, de las masas forestales existentes en el C.E.F. "Barranca de Cupatitzio "; así mismo su incremento periódico anual en área basal en los tipos y fases de suelo identificados para dicha área, con el objeto de tratar de establecer relaciones causales entre los atributos de la vegetación y algunas propiedades físico-químicas del suelo.

REVISIÓN DE LITERATURA

La actividad forestal en México ha ido creciendo a un ritmo inferior al que el potencial productivo de los recursos forestales lo permite. Las razones de ésto son de índole diversa e involucran aspectos políticos, económicos y sociales.

En términos generales, en el país no existe una tradición forestal que conceda la importancia ecológica y económica que tienen los recursos forestales, como aquella existente en otros países. Sin que ello signifique que en México no se ha realizado estudios sobre relaciones dasoedáficas o similares.

A la fecha existen algunos trabajos como el de Orantes (1980)[1], en los que se ha intentado establecer tal tipo de relación entre propiedades del suelo y algunos parámetros de la masa (e.g. altura dominante, diámetro normal, volumen por hectárea, etc.), concluyendo que las características dasométricas y edáficas que más intimamente se correlacionan son el incremento medio anual (IMA) en altura con el contenido de materia orgánica en el horizonte A, el IMA en diámetro con la capacidad de retención de humedad a 30 atmósferas en el horizonte B, la altura del fuste limpio con el contenido de arcilla y la altura dominante con la profundidad promedio de los horizontes.

En cambio, en la predicción de las características dasométricas de plantaciones de *Pinus radiata* D. Don, las mejores fueron el porciento de la pendiente del suelo, la profundidad del horizonte superficial, la posición topográfica y la exposición del lugar (Arteaga, 1983)[2].

Por otra parte, se ha considerado que para que las masas forestales que constituyen un bosque sean aprovechadas técnicamente es necesario conocer su composición, su estructura y su densidad; sea en número de árboles, área basal o volumen por unidad de área, así como su dinámica, con lo que se pueden definir los tratamientos silvícolas por aplicar en cada caso. Sobre todo porque un bosque difícilmente presenta características uniformes en toda su extensión (Loetsch, 1973[3]; Manzanilla, 1974[4]; Mas, 1977[5]; Musalem, 1979[6] y Flores, 1979[7]).

---

[1]Orantes G., F.R. 1980. Determinación de la calidad de estación de *Pinus hartwegii* Lindl. en Zoquiapan, Méx.
[2]Arteaga, T. W. 1983. Influencia del suelo y las características fisiográficas en el crecimiento de *Pinus radiata* D. Don en Ayotoxtla, Guerrero.
[3]Loetsch, F.; F. Zöhrer y E. K. Haller. 1973. Forest inventory. Vol. II.
[4]Manzanilla B., H. 1974. Investigaciones epidométricas y silvícolas en bosques mexicanos de Abies religiosa.
[5]Mas P., J. 1977. Composición y desarrollo de las masas de coníferas. pp. 175-205.
[6]Musalem L., F. X. 1979 Las bases y primeras acciones del programa nacional de mejoramiento silvícola en

Por lo anterior, los bosques se pueden clasificar como puros o mezclados, según las especies que los componen. En general, de modo arbitrario, se acepta que la presencia del 90% ó más de los árboles dominantes o condominantes, pertenecientes a la misma especie, determinan la pureza de un rodal (Daniel *et al.*, 1982)[8]. Estos autores especifican también que un rodal puede contar con sotobosque compuesto por otras especies sin que pierda su categoría de puro.

También se ha identificado que los grados de asociación entre las especies que integran una masa mezclada, así como su densidad y cobertura, son un reflejo del tipo de suelo, profundidad, pedregosidad y posición topográfica de éste (Rosales, 1964[9]; Domínguez y Aguilera, 1981)[10].

Algunos autores como Coile (1960)[11], Rowe (1962)[12], Jones (1969)[13] y Carmean (1970[14]; 1975[15]) han reconocido por otra parte que las series de suelos por sí son demasiado heterogéneas como para servir de base en la caracterización de las masas forestales, por lo que Dement y Stone (1970)[16] sugieren que tales series se relacionen a nivel de fase, ya que así se homogeneizan las características del suelo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción general de área de estudio.

La toma de datos de campo se efectuó en el área del C.E.F. "Barranca de Cupatitzio", situado en la parte sur de la Sierra Purépecha dentro del municipio de Uruapan, estado de Michoacán, al noroeste de la ciudad de Uruapan; con una extensión de 417 hectáreas; con un clima de transición entre los cálidos y los templados

bosques de coníferas.

[7]Flores R., L. J. 1979. Notas del curso "Ordenación de montes".

[8]Daniel, T. W., J. Helms A. y F. Backer S. 1982. Principios de Silvicultura.

[9]Rosales P., S. 1964. Los suelos y la vegetación del Campo Experimental Forestal "La Sauceda" en las zonas áridas de Coahuila.

[10]Dominguez R., T. y N. Aguilera. 1981. Introducción a la relación Aridosol Larrea. pp. 429-445.

[11]Coile T., S. 1969. Summary of soil-site evaluation.

[12]Rown J., S. 1962. Soil, site and land classification.

[13]Jones J., R. 1969. Review and comparison of site evaluation methods.

[14]Carmean W., H. 1970. Site quality for eastern hadwoods.

[15]Carmean W., H. 1975. Forest site quality evaluation in the United States. pp. 209-269.

[16]Dement J., A. And E. L. Stone. 1970. Influence of soil and site on red pine plantations in New York. 1020-1025 pp.

(A)C(w_2")(w)b(i')g: semicálido, subhúmedo, con lluvias en verano. La topografía es ondulada o cerril con altitudes de 1,700 a 2,000 metros. La vegetación arbórea está formada por bosque de pino-encino, con las especies *Pinus douglasiana* Martinez, *P. lawsonii* Roezl, *P. Michoacana* Martínez, *P. leiophylla* Schl et Cham, *Quercus* spp. y *Arbutus* sp.

Los suelos son de origen volcánico, encontrándose unidades andosol y litosol con sus subunidades vitrico y districo, respectivamente. El primero pertenece a la serie "Cupatitzio" con los tipos arena, arena-migajosa y migajón-arenoso con las fases superficial, media y profunda. Para el litosol districo, la serie representativa es "El Jabalí" con el tipo graboso discontinuo y la fase superficial.

METODOLOGÍA

Ya que se cuentó con la identificación de los tipos y fases de suelo, y que asi se homogeneiza un tanto las características de suelo por tomar en cuenta (Bartelli y DeMent, *op. cit.*), se optó por un esquema de muestreo simple aleatorio para cada uno de los tipos y fases del suelo, con unidades muestrales de forma circular de 0.1 de hectárea. El tamaño de muestra fue de 99 unidades (9.9 Ha) que equivale a un muestreo del 3.3% de la superficie total.

Trabajo de Campo

Una vez aleatorizados los sitios de muestreo y ubicados en el plano de tipos y fases de suelos, se procedió a su localización en el terreno y delimitación, previa compensación por pendiente. En los sitios se inventariaron los árboles con diámetro $\leq$ 10 cm, tomándose la siguiente información: género y/o especie, diámetro normal con corteza en centímetros y grosor de corteza en milímetros. Además, a los pinos se les extrajo un cilindro de madera por árbol, por medio del taladro de Pressler, con la finalidad de medir el ancho de los últimos diez anillos de crecimiento.

Procesamiento de datos

Con las parcelas de cada tipo de fase de suelo se calcularon, para cada una de las combinaciones de tipo y fase de suelo, las hectáreas tipo por especie y género; utilizando para ello la media aritmética, con lo que se obtuvo el número de árboles,

área basal e incremento periódico anual en área basal por hectárea y promedio por especie y género, y para cada categoría diamétrica.

El incremento periódico anual en área basal se calculó a partir del incremento en diámetro y de doble grosor de corteza, por lo que se calcularon éstos por género y especie, y para categoría diamétrica presente.

Por lo descrito anteriormente, con los valores medios del número de árboles por categoría diamétrica de cada especie del género *Pinus* y *Quercus* presentes en cada tipo y fase de suelo, se elaboraron gráficas de las estructuras diamétricas, y con los valores del incremento en área basal se elaboraron las curvas de incremento periódico anual de los últimos diez años. Además, se gráficó la relación entre la densidad y el incremento por hectárea para cada especie de pino donde este último fue considerado como variable dependiente.

Para el caso de características físicas y químicas de cada horizonte de suelo se procedió de manera similar que en el caso anterior. Es decir, se obtuvieron los valores promedios de cada uno de ellos por horizonte. Así mismo, el promedio de los valores medios por horizonte.

Con los datos dasométricos y de las características físicas y químicas del suelo, y con los promedios correspondientes de cada uno de ellos, se preparó una matriz de correlación simple entre todas las variables involucradas. Todo esto, con el propósito de seleccionar variables explicatorias y variables dependientes susceptibles de ser utilizadas en modelos matemáticos de estimación.

Conviene destacar que, en esta parte del análisis no se probaron los supuestos básicos de: normalidad, homogeneidad de varianzas, independencia de medias y varianzas, aditividad, y tampoco se realizó transformación alguna de variables.

RESULTADOS

En los Cuadros N° 1, 2 y 3 se representan los valores promedio de las características dasométricas por especie y género de cada estracto considerado en el estudio, que representan las estimaciones de posición y variabilidad de los parámetros analizados. En el Cuadro N° 4 se muestran las ecuaciones obtenidas por medio de regresiones múltiples, entre las características dasométricas y las propiedades físico-químicas del suelo y las de la densidad con el incremento.

TIPO	FASE	*Pinus dougl.*	*Pinus laws.*	*Pinus mich.*	*Pinus leiop.*	*Quercus* spp.	*Arbutus* sp.	Otras latifoliadas	*Pinus* spp.	Total
	Superficial	030.00	055.00	005.00	00.00	175.00	110.00	00.00	090.00	0375.00
ARENA	Media	054.00	040.00	007.00	00.00	137.00	33.00	25.00	110.00	0296.00
	Profunda	055.00	050.40	027.70	08.20	064.80	17.70	10.30	141.30	0234.10
	General	053.41	047.71	020.56	05.42	091.69	27.42	14.00	127.14	0260.27
	Superficial	042.86	070.01	014.29	00.00	018.57	00.00	00.00	127.16	0145.79
ARENA	Media	004.00	118.00	008.00	00.00	024.00	10.00	00.00	130.00	0164.00
MIGAJÓN	Profunda	026.62	077.46	036.62	05.82	002.00	03.00	00.00	146.52	0150.52
	General	029.44	083.75	021.67	04.17	017.52	05.00	00.00	139.03	0154.09
MIGAJÓN	Media	126.25	035.00	006.25	06.25	020.00	02.50	00.00	173.75	0196.25
ARENOSO	Profunda	065.00	025.00	005.00	05.00	000.00	00.00	05.00	100.00	0105.25
	General	114.00	033.00	005.00	06.00	016.00	02.00	00.00	158.00	0176.00
GRAVOSO	Superficial	069.00	055.67	002.66	00.00	086.66	21.99	12.99	127.33	0248.97
DISCONTI.	General	069.00	055.67	002.66	00.00	086.66	21.99	12.99	127.33	0248.97
TOTAL		738.58	746.67	162.41	40.86	739.90	254.60	80.28	1688.56	2764.21
MEDIA		56.81	57.44	12.49	3.14	57.53	19.58	6.18	129.89	211.94
DESVIACIÓN ESTD.		32.63	24.07	10.44	3.03	52.60	28.25	7.81	22.45	71.22
C.V. %		57.43	41.91	83.57	96.47	91.44	144.28	126.53	17.28	33.23

Cuadro N° 1. Número de árboles por hectárea por especie, para cada tipo y fase de suelo.

TIPO	FASE	*Pinus dougl.*	*Pinus laws.*	*Pinus mich.*	*Pinus leiop.*	*Quercus* spp.	*Arbutus* sp.	Otras latifoliadas	*Pinus* spp.	Total
	Superficial	0.2957	6.0753	0.3303	0.0000	3.2550	2.5918	0.0000	6.7013	12.5482
ARENA	Media	5.9064	3.5295	2.6566	0.0000	3.3171	0.7556	0.4520	12.0925	16.6173
	Profunda	5.8540	3.6461	2.9175	0.1788	1.1544	0.3972	0.2028	13.1364	14.8908
	General	5.3731	3.9297	2.6952	0.4385	1.8923	0.6250	0.2624	12.4365	15.2162
	Superficial	3.2670	8.7942	1.7950	0.0000	0.4742	0.0000	0.0000	13.8562	14.3304
ARENA	Media	0.4676	11.7270	1.4154	0.0000	0.7038	0.2030	0.0000	13.6100	14.5168
MIGAJÓN	Profunda	2.0885	8.6977	4.6139	0.5603	0,0094	0.1594	0.0000	15.9604	16.4479
	General	2.0950	9.3923	2.9767	0.5147	0.2481	0.1463	0.0000	14.9787	15.3731
MIGAJÓN	Media	17.2140	3.6850	1.5490	0.3710	0.2295	0.0440	0.0000	22.8190	23.0925
ARENOSO	Profunda	13.1030	2.1990	0.6283	0.9270	0.0000	0.0000	0.5370	16.8573	17.3943
	General	16.3989	3.4354	1.4253	0.2984	0.1845	0.0353	0.0000	21.5580	21.7778
GRAVOSO	Superficial	6.6258	3.3586	0.3899	0.0000	1.3802	0.6690	0.4305	11.3743	13.8540
DISCONTI.	General	6.6258	3.3586	0.3899	0.0000	1.3802	0.6690	0.4305	11.3743	13.8540
TOTAL		85.3148	71.8284	23.78	3.8287	14.2287	6.2956	2.3152	186.7549	109.9133
MEDIA		6.5627	5.5253	1.8293	0.2945	1.0945	0.4843	0.178	14.3658	16.1472
DESVIACIÓN ESTD.		5.4250	2.9448	1.2384	0.3096	1.0960	0.6664	0.2077	4.1155	2.9694
C.V. %		82.66	49.72	67.69	105.13	100.14	137.62	116.64	28.64	18.36

Cuadro N° 2. Área basal por especie, en cada tipo y fase de suelo.

TIPO	FASE	*Pinus dougl.*	*Pinus laws.*	*Pinus mich.*	*Pinus leiop.*	*Pinus* spp.
	Superficial	0.0174	0.1488	0.0132	0.0000	0.1784
ARENA	Media	0.0955	0.1123	0.0281	0.0000	0.2362
	Profunda	0.1141	0.0810	0.0610	0.0148	0.2777
	General	0.1040	0.0894	0.0490	0.0097	0.2571
	Superficial	0.0618	0.1630	0.0368	0.0000	0.2565
ARENA	Media	0.0081	0.2699	1.4154	0.0000	0.7038
MIGAJÓN	Profunda	0.0396	0.1815	0.0987	0.0149	0.3311
	General	0.0425	0.1752	0.0535	0.0111	0.2853
MIGAJÓN	Media	0.3582	0.0723	0.0196	0.0060	0.4615
ARENOSO	Profunda	0.1735	0.0305	0.0102	0.0107	0.2131
	General	0.3255	0.0603	0.0219	0.0076	0.4115
GRAVOSO	Superficial	0.1790	0.0981	0.0079	0.0000	0.2843
DISCONTINUO	General	0.1790	0.0981	0.0079	0.0000	0.2843
TOTAL		1.6982	1.5806	0.4279	0.0748	3.7758
MEDIA		0.1306	0.1216	0.0329	0.0057	0.2904
DESVIACIÓN ESTDAR		0.1064	0.0616	0.0255	0.0058	0.0731
C.V. %		81.44	50.63	77.48	100.67	25.18

Cuadro N° 3. Incremento periódico anual en área basal por especie y por tipo y fase de suelo.

	ECUACIONES	R	sig.
1. N° árboles total	= 43.9773 + 1,473 (P) + 21 - 1,311 (NO_3) + 6.5100(Mg) - 54.1666 (M.A.)	0.60	95%
2. N° árboles *Pinus douglasiana*	= - 1,887.2304 + 20.4806 (arena) + 23.0623 (limo) + 14.4345 (L.a.a.) - - 67.6412 (dens. apa.) + 0.6789 - 0.9537 (pend.) - 0.9841 (G.S.E.)	0.68	95%
3. Área *basal Pinus* ssp	= 99.7260 + 1.5900 (limo) + 54.2018 (Dens. apa.) + 0.3943 (arena) + +0.3100 (L.a.a.) - 0.2110 (pend.)	0.71	95%
4. Área basal *P. douglasiana*	= -212.7612 + 2.1808 (arena) + 2.6551 (limo) + 1.8119 (L.a.a.) + 0.6789 (Den. apa.) - 0.1834 (pend.) - 0.0301 (G.S.E.)	0.76	95%
5. Área basal *Quercus* spp	= -8.6444 + 0.4449 (arena) + 0.4218 (pend.) - 0.0898 (limo) - -0.0301 (G.S.E.) - 24.3077 (Den. apa.)	0.81	95%
6. IPA *Pinus* spp	= -0.2173 - 2.94 E - 04 (N° árb. total) + 2.92E = 03 (N° A.P.) - - 0.0296 (A.B. total) - 0.021 (A.B.P.)	0.94	99%
7. IPA *Pinus lawsonii*	= - 0.1378 + 4.63E - 04 (N° Árb. Total) - 1.49E - 03 (N° A.P.) - - 2.47E - 03 (A.B.L.) + 8.98E - 04 (N° A.L.)	0.79	95%

Cuadro N° 4. Modelos de regresión múltiple entre las características dasométricas y las propiedades físico-químicas del suelo y las de la densidad con el incremento en Barranca de Cupatitzio, Uruapan, Michoán, México.

Las figuras N° 1, N° 2 y N° 3 representan el estado actual de la masa en ese estrato por tipo y fase de suelo.

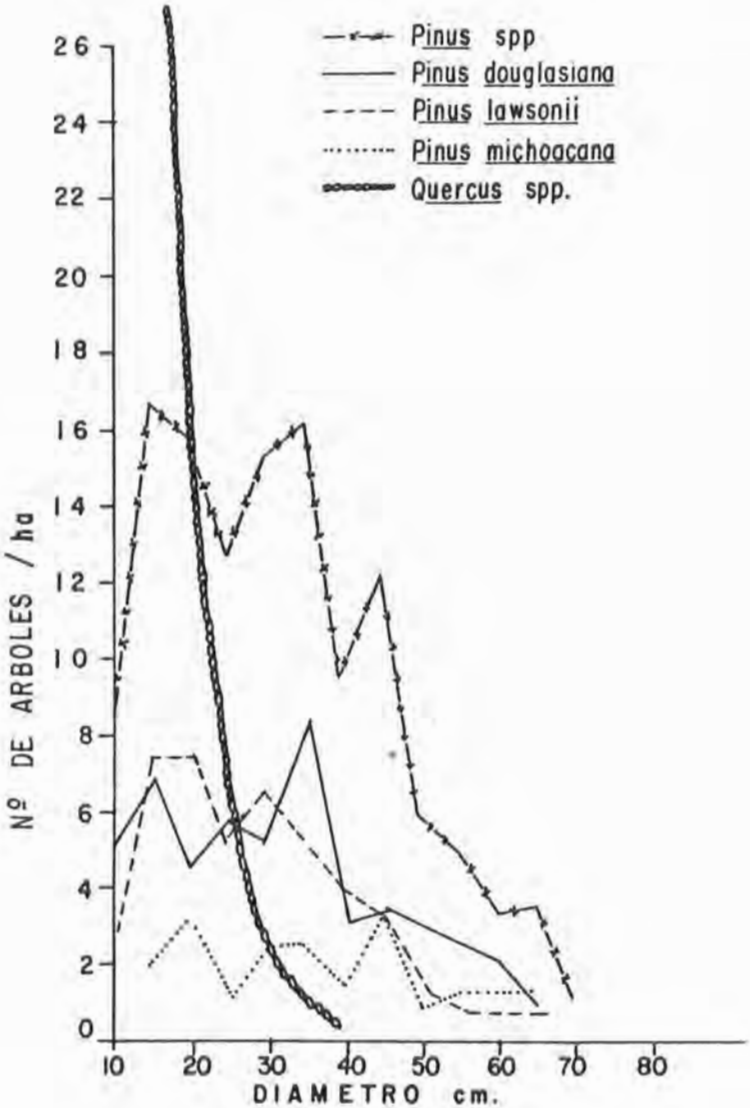


Figura Nº 1. Distribución de frecuencias en suelo arena general.

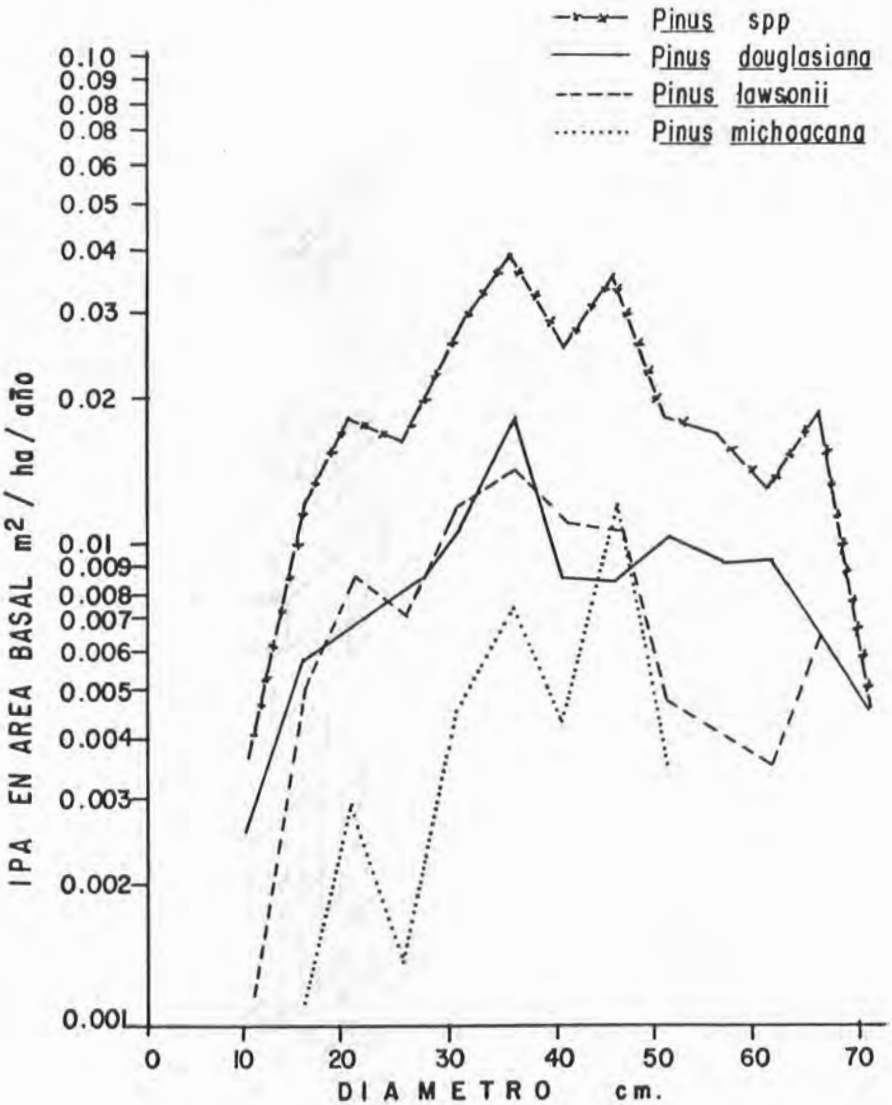


Figura N° 2. Incremento periódico anual (IPA) en área basal, en suelo arena general.

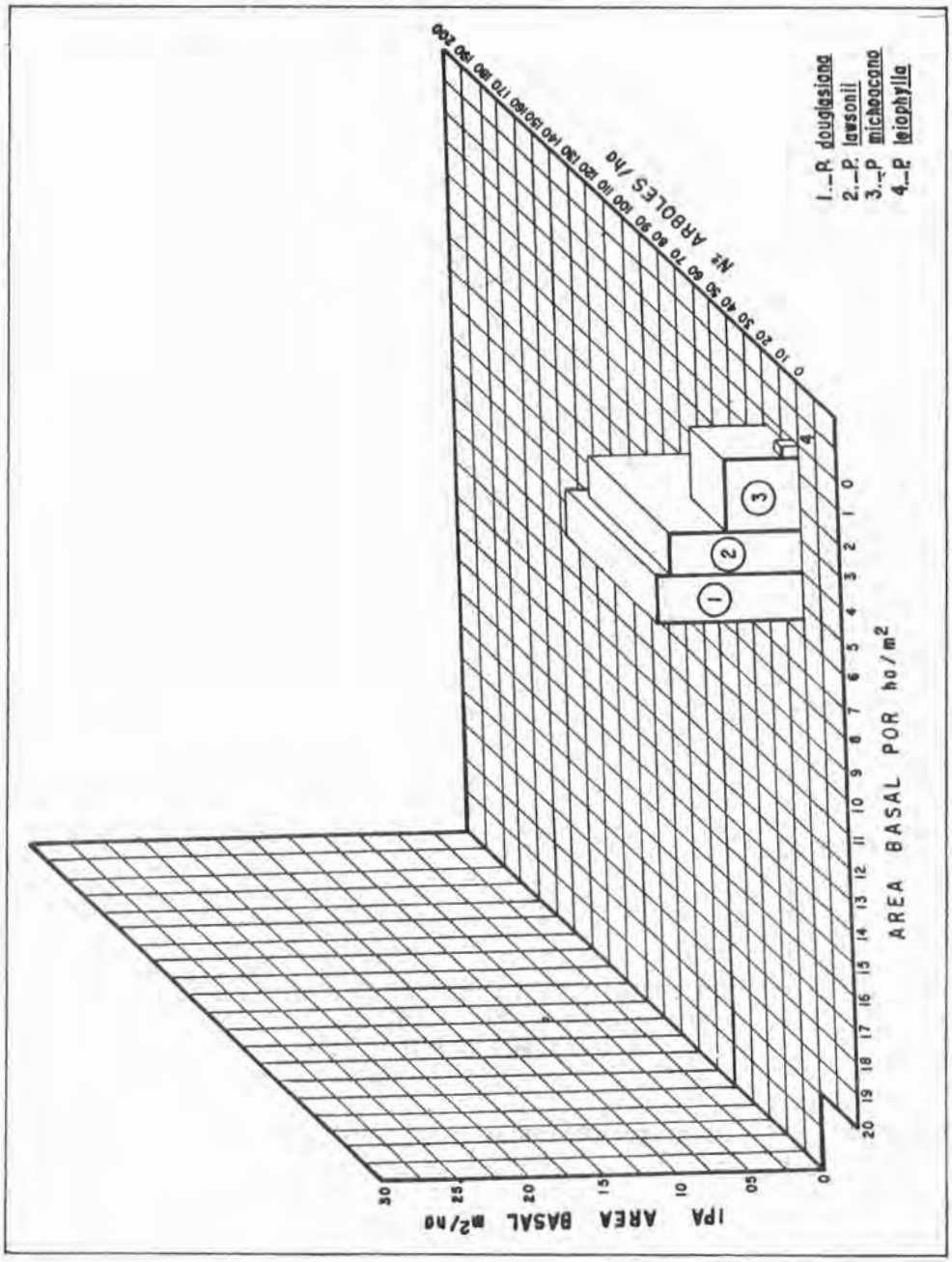


Figura Nº 3. Relación entre el incremento periódico anual (IPA) y la densidad de masa para el suelo en general.

DISCUSIÓN

Los resultados contenidos en los Cuadros N° 1 y N° 2 evidencian que la menor variación se encuentra en el género *Pinus* spp., pudiendo notarse que en el número total de árboles la variación es menor en *Pinus* spp., en el área basal la relación es inversa. Así mismo, se aprecia que los valores mínimos y máximos para los dos parámetros corresponden a la arena superficial y migajón arenoso medio para el caso de *Pinus* spp., migajón arenoso profundo y arena superficial para número total de árboles.

En los mismos cuadros, a nivel de género, se aprecia que la menor variación en número de árboles y área basal la tiene el *Pinus* spp. y la mayor el *Arbutus* sp. Para las especies de pino se observa que la variación aumenta al analizar el área basal, la menor variación la tiene el *P. lawsonii* y la mayor el *P. leiophylla,* todo esto con respecto a la variación en número de árboles.

Regularmente se espera que, a mayor número de árboles corresponde mayor área basal. Sin embargo, en este caso se puede ver que la frecuencia de *Pinus douglasiana* no lo evidencia, ya que 4 individuos aportan mayor área basal que 20; por lo que, para estos dos parámetros la menor densidad corresponde al suelo arena migajosa media y arena superficial; en cambio, el extremo máximo corresponde al migajón arenoso medio.

Los valores máximos y mínimos del *Pinus lawsonii,* con respecto a su frecuencia, se localizan en la arena migajosa media y en el migajón arenoso profundo, y para el *P. michoacana* en la arena migajosa profunda y en el gravoso discontinuo.

En cuanto a los totales de densidad para pino, se observa que las mayores son para *Pinus douglasiana* por el número de árboles y para *p. lawsonii* por el área basal y que estas especies, en relación con sus frecuencias, prefieren determinados tipos de suelo. Así se tiene que, la primera habita en suelos profundos, de poca pendiente y con texturas finas, en tanto que, la segunda puede desarrollarse en suelos de menor profundidad, con mayor pendiente y textura más gruesa que el anterior; a las demás especies se les puede considerar como secundarias (Cuadros N° 1 y N° 2).

En el Cuadro N° 3 se presentan las estimaciones del incremento periódico anual (IPA) en área basal. El valor extremo máximo lo da el suelo migajón arenoso medio, tanto para el género *Pinus* spp. como para la especie *P. douglasiana,* a diferencia de las demás especies que se localizan en los suelos arenomigajoso medio *(P. lawsonii)* y

arenomigajoso profundo *(P. michoacana* y *P. leiophylla)*. Se observa también que el incremento es directamente proporcional a la cantidad de área basal.

Al analizar los totales de IPA del género y especies de pino, se tiene que el primero presenta menor variabilidad que sus especies y que de éstas la de menor varianza es el *Pinus lawsonii* que tiene una diferencia de aproximadamente un decímetro cuadrado del *P. douglasiana*, por lo que se les considera especies principales y a las dos restantes como secundarias.

En la ecuación 1 (Cuadro N° 4), el fósforo, los nitratos y el magnesio están en relación directa con el número total de árboles, ya que al aumentar estos elementos lógicamente el suelo se vuelve más rico en nutrientes, además que el primero induce a los individuos a desarrollar sus raíces, órganos sexuales y almacenar más sustancias de reserva en las semillas. Los nitratos, por otra parte, estimulan el crecimiento y el último hace que las plantas realicen con mayor facilidad la fotosíntesis. En el caso de la materia orgánica se requiere de más muestra para indicar si la acidez titulable afecta el crecimiento en forma negativa.

Lo anterior se debe posiblemente a que se analizaron valores medios de las propiedades químicas del suelo y de las características dasométricas de las masas existentes en cada tipo y fase de suelo, ocasionando que se pierdan varias características que puede afectar el comportamiento y la explicación de los modelos matemáticos obtenidos. Sin embargo, tuvo que hacerse así por la gran variabilidad encontrada.

La mayoría de la variables independientes que componen las ecuaciones 2, 3 y 4 (Cuadro N° 4), que explican parte del comportamiento de las características dasométricas de las masas forestales en estudio, tienen relación lógica con éstas. Así se tiene que la mayor cantidad de arena fina y limos, significan un aumento en la aireación, drenaje y humedad aprovechables. La lámina de agua aprovechable tiene correlación positiva porque incrementa la humedad disponible, y la pendiente es inversamente proporcional porque con su aumento disminuye el grosor del suelo.

El grosor del suelo efectivo aparece con correlación negativa, lo cual puede ser lógico, si se toma éste como el grosor de la capa de arena, ya que según Gómez-Tagle (1985)[17] debajo de este suelo se encuentra otro formado por un horizonte B cámbrico, que es de mejor calidad y que a medida que este último se aleja de la superficie, va disminuyendo la disponibilidad de nutrientes para las masas existentes.

[17]Gómez-Tagle R., A. 1985. Levantamiento de los suelos del Campo Experimental Forestal "Barranca de Cupatitzio", y sus relaciones con la vegetación de coníferas.

La densidad aparente se correlaciona negativamente con el número de árboles de *Pinus douglasiana*, lo cual resulta lógico, ya que al aumentar el valor de ésta, disminuye el crecimiento en los suelos compactos. Sin embargo, con el área basal de *Pinus* spp. y *P. douglasiana* no se comportó positivamente, por lo que es difícil explicar su influencia, excepto el hecho de estar por arriba del valor reportado como óptimo (Gómez-Tagle, *op. cit.*).

Con la ecuación 5 (Cuadro N° 4) se observa que la abundancia de *Quercus* spp. se presenta por la fácil adaptabilidad de este género en suelos de baja calidad y de mayor pendiente que en los habitados por *Pinus* spp. Esto puede ser debido a la menor densidad presente de la masa de pinos, ya que regularmente las masas de encino se encuentran bajo las masas de pino.

La relación entre la densidad de las masas con el IPA en área basal de *Pinus* spp. y de *P. lawsonii* no es clara, en la ecuación 6 y 7 (Cuadro N° 4) no es lógico que las variables independientes en una ecuación tengan un signo y en la otra ecuación aparece lo contrario, siendo que los dos son pinos de rusticidad similar.

Observando las diferencias en composición, estructura, densidad y crecimiento en los rodales de un bosque, es difícil diagnosticar su utilización más conveniente. Estos juicios cualitativos en algunos casos pueden ser lo que se requiere para decidir sobre el manejo de un bosque.

En la descripción de las masas arboladas existentes, tanto en las fases como en los tipos de suelo, se tomó en cuenta el criterio de pureza dado por Daniel *et al.* (*op. cit.*).

Al analizar las masas forestales que habitan las fases de suelo correspondiente al tipo de arena, se aprecia que están formadas por dos clases de poblaciones: una constituida por especies de pino y otra por especies de encino, con diferentes grados de asociación; ambas presentan estructura diamétrica irregular.

La mayor o menor densidad, así como el IPA en área basal de las especies de pino en cada una de las fases de suelo arenoso, se debe principalmente a las condiciones topográficas del terreno, ya que en las de pendientes bruscas *Pinus lawsonii* presenta mayor incremento que las otras especies, incluso con menor densidad, por lo que se considera a éste el de mejor adaptabilidad a condiciones abruptas.

Estudiando las fases de suelo correspondientes a la arena migajosa, se observa que en estos suelos se localizan masas puras de pino de dos pisos o de dos clases de edad, las cuales tienden a ser más o menos homogéneas, formadas por *Pinus lawsonii*, *P.*

michoacana y *P. douglasiana*, ordenadas de acuerdo con su densidad e incremento, considerando por esto a la primera como la principal.

Los diferentes grados de asociación y distribución de las especies de pino, se debe principalmente a la calidad del terreno, ya que según Gómez-Tagle (*op. cit.*) bajo estos suelos se encuentra una capa de suelo clasificado como migajón arenoso, de mejor calidad por su mayor contenido de nutrientes y disponibilidad de humedad aprovechable, por lo que la presencia de la especies depende de la profundidad a la que se encuentra la citada capa y a la topografía del terreno.

Con base en lo anterior, se puede decir que *Pinus lawsonii* y *P. michoacana* habitan suelos con poca humedad y con pendientes pronunciadas; en cambio, el *P. douglasiana* se caracteriza por establecerse más frecuentemente en lugares con pendiente, buen contenido de nutrientes y mayor humedad aprovechable.

Las masas arboladas existentes en las fases de suelo correspondientes al tipo migajón arenoso, son diferentes en estructura diamétrica, densidad e incremento, debido principalmente a la topografía del terreno, por lo que las gráficas de frecuencia diamétricas representan masas puras de pino formadas por *Pinus douglasiana* y *P. lawsonii*; con dos pisos que corresponden a dos poblaciones de edades diferentes. Por género, presentan la apariencia de una estructura diamétrica más o menos regular, en tanto que por especie cambia notablemente la segunda.

En el suelo gravoso discontinuo (mal país) la irregularidad del relieve, exposición, composición del suelo, baja humedad aprovechable, etc., propicia la presencia de varios microclimas, los que son habitados también por una diversidad de especies arbustivas y arbóreas. La gráfica de distribución de frecuencias diamétricas representa una masa arbórea con dos poblaciones: una constituida por especies de pino y otra por encinos.

La población de *Pinus* spp. por su estructura diamétrica da el aspecto de una comunidad más o menos homogénea y las especies que la constituyen siguen un patrón similar. Sin embargo, en este caso no lo son, ya que cuenta con individuos muy jóvenes y otros de edades avanzadas; esto sucede, además de la razón antes señalada, porque únicamente se encuentran árboles en partes donde las fracturas de la roca permiten la existencia de suelo orgánico mineral. En cambio, la distribución de frecuencias diamétricas de la población de *Quercus* spp. coincide con una masa de tipo irregular.

CONCLUSIONES

Los resultados del muestreo de las características dasométricas de las masas arboladas existentes en los diferentes tipos y fases de suelo en el C.E.F. "Barranca del Cupatitzio" permiten concluir lo siguiente:

1.- La composición de las masas forestales naturales del área en estudio está dada por los géneros: *Pinus* spp. y *Quercus* spp. principalmente, los cuales se presentan formando dos poblaciones (estratos); el primero de éstos cuenta con las siguientes especies: *P. duoglasiana, P. lawsonii, P. michoacana* y *P. leiophylla* , encontrándose con mayor frecuencia a las dos primeras.

2.- La estructura diamétrica de las masas de pino que habitan los suelos de mejores condiciones representan una población de dos pisos, siendo éstos más o menos regulares.

3.- Los suelos de menor calidad se caracterizan por presentar dos poblaciones diferentes, una formada por especies de pino y otra secundaria constituida por encinos; ambas con estructuras diamétricas heterogéneas.

4.- La composición, la estructura diamétrica, la densidad y el IPA en área basal son diferentes en cada tipo y fase de suelo.

5.- El *Pinus douglasiana* se caracteriza por habitar terrenos de mejor calidad y con poca pendiente, en tanto que el *P. lawsonii* y el *P. michoacana* cuentan con más capacidad de adaptabilidad a terrenos de textura gruesa y pendientes fuertes.

6.- Los modelos matemáticos demuestran que las propiedades químicas del suelo no resultan, en este caso, determinantes en la estimación de las características dasométricas de las masas arboladas. Se observó que la físicas pueden tener mayor probabilidad de explicar parte de dicha respuesta de las variables dasométricas. O bien, que el análisis a través de técnicas de regresión univariadas, no es suficiente para encontrar relaciones claras entre variables de interés para este estudio.

7.- No es recomendable el análisis de relaciones entre variables edáficas y dasométricas con base en valores medios, ya que se pierden explicaciones posibles entre ellas. Sobre todo porque con los promedios se reduce notablemente los rangos de cada variable.

BIBLIOGRAFÍA

Arteaga M., B. 1983. Influencia del suelo y las características fisiográficas en el crecimiento de *Pinus radiata* D. Don en Ayotoxtla, Gro. Tesis profesional U.A.CH. Chapingo, México. 146 p.

Carmean W., H. 1970. Site quality for aestern hadwoods. *In*: The silvilculture of oaks and associated. USDA: For. Serv. Res. Paper NE-144. Northeastern For. Exp. Sta. Upper Darby, Pa. 66 p.

_____ 1975. Forest site quality evaluation in the United States. Adv. Agronomy 27 : 209-269.

Coile T., S. 1960. Summary of soil-site evaluation. *In:* P. Y. (ed). Proc. Eight Annual Forestry Symposium. Louisiana State Univ. Press. Baton. La.

Daniel, T. W.; J. Helms A. y F. Backer S. 1982. Principios de Silvicultura (Trad. Ramón Elizondo Mata). McGraw-Hill. Mèxico. 492 p.

Dement J., A. and E. L. Stone. 1970. Influence of soil and site on red pine plantations in New York. II. Soli type and physical properties. Cornell Univ. Agric. Exp. Sta. Bull pp. 1020-1025

Dominguez R., T. y N. Aguilera. 1981. Introducción a la relación Aridosol Larrea. Memoria del XIV Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. Tomo I. México. pp. 429-445.

Flores R., L. J. 1979. Notas del curso "Ordenación de montes" Fac. de Agrobiología. U.M.S.N.H. Uruapan, Mich. 155 p.

Gómez-Tagle R., A. 1985. Levantamiento de los suelos del Campo Experimental Forestal "Barranca de Cupatitzio", y sus relaciones con la vegetación de coníferas. UNAM. Tesis de Maestría. México. 135 p.

Jones J., R. 1969. Review and comparison of site evaluation methods. USDA. For. Serv. Res. Paper RM-51. Rocky mountain For. and Rge. Exp. Sta. Fort Collins Col. 27 p.

Loetsch, F.; F. Zöhrer y E. K. Haller. 1973. Forest inventory. Vol. II. B.L.V. Verlagsgesellschaft. Müchen, Bern, Wien. Germany. 469 p.

Manzanilla B., H. 1974. Investigaciones epidométricas y silvícolas en bosques mexicanos de *Abies religiosa*. Dirección General de Información y Relaciones Públicas de la S.A.G. México. 165 p.

Mas P., J. 1977. Composición y desarrollo de las masas de coníferas. *In*: Memoria del curso de Silvicultura en montes de coníferas. SARH. México. pp 175-205.

Musalem L., F. X. 1979. Las bases y primeras acciones del programa nacional de mejoramiento silvícola en bosques de coníferas. Productos Forestales de Michoacán. Morelia, Mich. México. 40 p.

Orantes G., F.R. 1980. Determinación de la calidad de estación de *Pinus hartwegii* Lindl. en Zoquiapan, Méx. Tesis profesional. U.A.CH. Chapingo, México. 77 p.

Rosales P., S. 1964. Los suelos y la vegetación del Campo Experimental Forestal "La Sauceda" en las zonas áridas de Coahuila. INIF. Bol. Téc. N° 16. México. 33 p.

Rowe J., S. 1962. Soil, site and land classification. For. Chron. 38 : 420-432.

Spurr, S. H. y V. B. Barnes. 1982. Ecologia Forestal (Primera edición en español). A.G.T. Editor, S.A. México. 690 p.

RUTINAS DE CÁLCULO DE ONCE MÉTODOS PARA DETERMINAR EL INCREMENTO EN VOLUMEN DE CONÍFERAS

Aguilar Ramírez Mario*
Villa Salas Avelino B.**

RESUMEN

En este artículo se analizan y comparan once rutinas usadas o estudiadas en México para el cálculo del incremento en volumen de coníferas, los métodos presentados son los siguientes:

1. Versión modificada del método de Loetsch.
2. Método del área basal.
3. Método Aguilar.
4. Método diferencial de Meyer.
5. Método de Hufnagl, modificado por Aguilar.
6. Método de Hoenadl.
7. Método rápido de Klepac.
8. Método del porcentaje de Meyer.
9. Método de Lachaussee.
10. Método general de tiempo de paso.
11. Método de Kenneth Davis.

Por sus características la versión modificada del método de Loetsch se utilizó como testigo. Los métodos general de tiempo de paso, rápido de Klepac, Lachaussee y Aguilar, son fáciles en su procedimiento y generan resultados aceptables; con cierto

*Ing. Agrónomo, Especialista en Bosques, Investigador Titular del Campo Experimental Uruapan, CIR-Pacífico Centro, INIFAP, SAGDR.
**Ing. Agrónomo, Especialista en Bosques, Investigador Titular del CENID-COMEF, Coyoacán. D.F., INIFAP,SAGDR.

margen de error les siguen el diferencial de Meyer, área basal y Hufnagl. Los métodos de Hoenadl y porcentaje de Meyer sobreestiman el incremento.

Palabras clave: Incremento en volumen, bosque de coníferas.

ABSTRACT

The objective of this article is to present the most common calculation rutines used or studied in Mexico to determine the volume increment in conifers species. The following methods are presented:

1. Modified version of the Loetsch Method.
2. Basal area Method.
3. Aguilar Method.
4. Meyer differential Method.
5. Hufnagl Method, modified by Aguilar.
6. Hoenadl method.
7. Klepac fast Method.
8. Meyer Percent Method.
9. Lachaussee Method.
10. General Method of Time Pass.
11. Kenneth-Davis Method.

Because of its characteristics the modified version of the Loetsch Method was used to make comparisons. It is shown that the General Method of Time Pass, the Klepac fast Method, the Lachaussee Method and Aguilar Method are easy to implement and acceptable results are obtained. With a small error margin Meyer differential Method, the Basal area Method and Hufnagl Method follow the previously mentioned. Hoenadl Method and Meyer Percent Method overestimate the volume increment.

Key words: Volume increment, coniferous forests.

INTRODUCCIÓN

México, por ser una sociedad en crecimiento demográfico continuo, requiere satisfacer un mayor número de productos y servicios derivados del bosque; por ello, no puede darse ya el lujo de la improductividad en términos de aprovechamientos extensivos de tierras y bosques, sino por el contrario, se debe incrementar la producción, transformando los bosques en elementos de mayor productividad por unidad de superficie, con base en sujetos jóvenes, sanos y vigorosos, como consecuencia de la aplicación de mejores técnicas silvícolas para el manejo de los recursos forestales.

Uno de los parámetros de mayor importancia que requiere ser calculado con toda precisión, para lograr un buen manejo de los bosques, es el que se refiere a su incremento, considerando a éste como el aumento en las dimensiones (altura, diámetro o volumen) de un árbol, debido a su crecimiento en un período considerado, la forma de expresión del incremento más usual, es la del Incremento Corriente Anual (ICA) en volumen, así como su correspondiente valor en porcentaje.

Su importancia radica en el hecho de que los métodos de ordenación y los planes de manejo forestales más usados, basan el cálculo de la posibilidad o de los volúmenes de corta aprovechables, anual o periódicamente, en cualquiera de las expresiones del incremento; aunque en la primera fase de un aprovechamiento forestal tiene una importancia relativamente secundaria en la regulación de las cortas, dado que después de la primera intervención, la velocidad del crecimiento e incremento varían considerablemente, lo que hace necesario conocer el incremento antes del inicio de los aprovechamientos, para establecer comparación con futuras determinaciones y evaluar la respuesta del bosque a los tratamientos aplicados.

Por otro lado, en bosques de segundo crecimiento con rodales jóvenes como los de muchas partes de nuestro país, un error del diez porciento en el cálculo del posible volumen de corta, resulta crucial y establece la diferencia entre pérdidas y ganancias; es decir, un cálculo que sobrestime el incremento descapitalizará el bosque y uno que lo subestime proporcionará la pérdida injustificada de volúmenes de acuerdo a su producción real. De ahí que su determinación deba realizarse con sumo cuidado.

OBJETIVO

Por lo anterior, es objetivo de este trabajo presentar y después analizar en forma desglosada y sencilla, las rutinas de cálculo de once procedimientos que se han usado o estudiado en México para determinar el incremento en volumen de coníferas, los cuales se mencionan a continuación:

1. Versión modificada del método de Loetsch.
2. Método del área basal.
3. Método Aguilar.
4. Método diferencial de Meyer.
5. Método de Hufnagl, modificado por Aguilar.
6. Método de Hoenadl.
7. Método rápido de Klepac.
8. Método del porcentaje de Meyer.
9. Método de Lachaussee.
10. Método general de tiempo de paso.
11. Método de Kenneth Davis.

ANTECEDENTES

Para el cálculo del incremento en bosques de coníferas, hasta 1962 se utilizaban en nuestro país diferentes métodos empíricos que estimaban con graves errores el incremento en volumen y el método de tiempo de paso. En 1962, Villa-Salas (1963)[1] por encargo del entonces Instituto Nacional de Investigaciones Forestales (INIF), revisa la metodología descrita por Loetsch (1953)[2] y la modifica para adaptarla a México, siendo adoptada durante los trabajos del Inventario Nacional Forestal (1962-1982), concediéndosele a ésta un carácter oficial durante mucho tiempo. Posteriormente el mismo Villa Salas (1970)[3], complementa la metodología de Loetsch (*op. cit.*) con técnicas para la medición del incremento en el campo.

[1]Villa-Salas, A. B. 1963. Cálculo de incrementos en bosques de coníferas.
[2]Loetsch, F. 1953. "Massen Zuwachsermittlung durch Bohrspan prohen unter Auwendung matematish-statistischer Methoden". pp. 77-93
[3]Villa-Salas, A. B. 1970. Una metodología para la medición y el cálculo del incremento en bosques de coníferas.

Después. Caballero (1970)[4] describe y discute una metodología para la estimación de los incrementos en bosques de coníferas en función del área basal. Klepac (1976)[5] durante su estancia en México, proporciona la filosofía y las bases del crecimiento e incremento de árboles y masas forestales. Años después. Aguilar (1983a)[6] modifica el Método de Hufnagl y genera el Método Aguilar (1983 b)[7].

En el extranjero Loetsch *et al.* (1973)[8], Spurr (1951)[9] y Husch (1971)[10] mencionan métodos y fórmulas para el cálculo del incremento utilizadas en países de una gran tradición forestal.

MATERIALES Y MÉTODOS.

En el Campo Experimental Forestal "Barranca de Cupatitzio" ubicado en las cercanías de la ciudad de Uruapan. en el estado de Michoacán. se hicieron las mediciones de campo en sitios circulares de 1,000 m^2 distribuidos sistemáticamente; los datos de tiempo de paso y de incremento en diámetro normal (DAP) con corteza se obtuvieron extrayendo los cilindros o virutas de madera con taladro de incremento tipo Pressler. Los resultados obtenidos de estas mediciones se presentan en los Cuadros N° 1 y 2.

En relación con la tarifa utilizada se elaboró una con base en la relación diámetro-Volumen y la Ecuación de ajuste fue: $y = -23.0909 X + 4.64193$ $K= 0.46$ y $R2 = 0.99$ observándose los volúmenes en la columna 2 del método de Loetsch.

Los datos que aparecen en los cuadros 1 y 2. se usaron para alimentar de información dasométrica de campo, a las once rutinas de cálculo del incremento que se presentan y analizan en este trabajo.

[4]Caballero, D. M. 1970. "Discusión y descripción de una metodología para estimación de los incrementos de Bosques de Coníferas en función del Área Basal". pp 19-34.
[5]Klepac, D. 1976. Crecimiento e incremento de árboles y masas forestales.
[6]Aguilar R., M. 1983 (a). "El método de Hufnagl modificado por Aguilar". pp 15-21.
[7]Aguilar R., M. 183 (b). "Un nuevo método para determinar el incremento denominado "Método Aguilar". pp. 11-14.
[8]Loetsch *et al.* 1973. Forest Inventory.
[9]Spurr, H. S. 1952. Forest Inventory.
[10]Husch, B. 1971. Planificación de un Inventario Forestal.

C D (cm)	Nº árb./Ha	xCorteza (mm)	xIncrem (mm)	Años Tiempo de Paso Me	Mg	Mh
10	48.0	2.9	50.6	10.0	9.9	9.3
15	58.0	3.4	59.5	8.5	9.6	8.6
20	41.3	4.0	60.9	8.4	9.6	8.4
25	42.0	4.3	50.0	12.0	10.6	9.5
30	29.3	5.1	55.1	11.3	10.2	8.9
35	36.7	5.2	50.9	10.2	10.3	10.2
40	26.7	5.6	58.0	9.7	8.0	7.8
45	28.0	6.1	54.9	11.4	10.8	9.1
50	30.0	6.4	53.9	10.7	10.4	9.8
55	13.3	6.6	46.6	11.8	11.6	10.7
60	10.7	6.7	48.6	11.0	10.3	9.9
65	7.3	6.9	53.1	10.9	9.9	9.2
70	2.7	7.1	58.5	9.0	9.0	8.3

Donde: CD = Clase diamétrica, Me = mediana, Mg = media geométrica y Mh = media armónica.

Cuadro Nº 1. Datos obtenidos de las mediciones de campo.

Dcc (cm)	Grosor de Corteza (cm)	Dsc (cm)	Fc Loetsh
10	2.9	7.1	
15	3.4	11.6	1.1
20	4.0	16.0	1.1
25	4.3	20.7	1.1
30	5.1	24.9	1.1
35	5.2	29.8	1.05
40	5.6	34.4	1.1
45	6.1	34.9	1.1
50	6.4	43.6	1.05
55	6.6	48.4	1.03
60	6.7	53.3	1.03
65	6.9	58.1	1.04
70	7.1	62.9	1.04

Cuadro Nº 2. Diámetro con corteza (Dcc) y diámetro sin corteza (Dsc) y factor de conversión (Fc) de acuerdo con la versión modificada del Método de Loetsch.

1. Versión modificada del Método de Loetsch

Este método fue desarrollado por Villa-Salas (*op. cit.*), para el cálculo del incremento en volumen de coníferas, y se lleva a cabo de la siguiente manera:

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
CD (cm)	Vol/a (m3)	Dif vol (cm3)	Vol/pc diam	Inc A diam sc cm3	Inc anual Dcc cm3	Inc anual arb m3	Inc vol %	N° arb Ha	Vol t Ha	Inc Ha
10	0.035	0.100								
15	0.135		0.0273	0.595	0.655	0.0178	13.24	58.0	7.83	1.037
		0.173								
20	0.308		0.0408	0.609	0.670	0.0273	8.88	41.3	12.70	1.29
		0.235								
25	0.543		0.520	0.500	0.550	0.0286	5.27	42.0	22.8	1.20
		0.285								
30	0.828		0.0610	0.551	0.606	0.03697	4.46	29.3	24.26	1.0
		0.325								
35	1.153		0.509	0.534	0.036	0.04636	3.14	36.7	42.31	1.3
		0.354								
40	1.507		0.0731	0.0580	0.638	0.04664	3.09	26.7	40.23	1.4
		0.377								
45	1.884		0.0771	0.549	0.604	0.04657	2.40	28.0	52.75	1.3
		0.394								
50	2.278		0.0779	0.539	0.566	0.04522	1.99	30.0	68.34	1.3
		0.405								
55	2.683		-0.0819	0.466	0.480	0.93931	1.47	13.3	35.68	0.52
		0.414								
60	3.097		0.0833	0.486	0.501	0.04173	1.35	10.7	33.13	0.44
		0.419								
65	3.516		0.0842	0.531	0.552	0.04648	1.32	7.3	25.66	0.33
		0.423								
70	3.939		0.0846	0.585	0.608	0.05144	1.31	2.7	10.63	0.13
		0.423								
75	4.362							326	376.384	.135 ICA m3

Cuadro N°3. Rutina de cálculo del incremento de acuerdo con la versión modificada del Método de Loetsch.

Columna 1. Se anotan las categorías diamétricas en cm. empezando con la categoría diamétrica inferior a la más pequeña considerada para el cálculo del incremento de una masa arbolada, estrato o rodal, es decir (CD-5) y se termina con la categoría superior a la más grande considerada (CD+5).

Donde: CD = Clase diamétrica actual o considerada
CD-5= Clase diamétrica inferior a la considerada
CD+5= Clase diamétrica superior a la considerada

Columna 2. Se anotan los volúmenes del árbol tipo por cada clase diamétrica, los cuales se obtienen de las tarifas o tablas de volúmenes correspondientes al rodal, estrato o al bosque que se le va a calcular el incremento. Se expresa en metros cúbicos (m^3).

Columna 3. Se determinan las diferencias de volumen existente entre las categorías diamétricas sucesivas. $V_{15} - V_{10}$, $V_{20} - V_{15}$ ... hasta $V_{75} - V_{70}$; por ejemplo:

$V_{15} - V_{10} = 0.135 - 0.035 = 0.100\ m^3$,
$V_{20} - V_{15} = 0.308 - 0.135 = 0.173\ m^3$,

hasta

$V_{70} - V_{65} = 3.939 - 3.516 = 0.423\ m^3$

Columna 4. Se determina el volumen de 1 cm de diámetro de cada clase diamétrica, dividiendo la suma de la diferencia de volumen de la clase diamétrica anterior a la considerada y la diferencia de volumen de la clase diamétrica posterior a la considerada entre 10, por ser la suma de centímetros entre las clases diamétrica anterior y posterior a la considerada, por ejemplo:

Vcm15 = 0.100 + 0.173 / 10 = 0.0273 m^3,
Vcm20 = 0.173 + 0.235 / 10 = 0.0408 m^3,

hasta:

Vcm70 = 0.423 + 0.423 / 10 = 0.0846 m^3

Columna 5. Se anotan los datos de campo, es decir: la media de los valores del incremento corriente anual en diámetro sin corteza (Isc) y se registra en centímetros (cm).

Columna 6. Las tablas de volúmenes que cubican los árboles en función de su diámetro normal o de su diámetro normal y altura, incluyen la madera y la corteza (xilema y floema, respectivamente), al igual que los diámetros normales que se miden

en el campo; sin embargo, el incremento en radio que se transforma después en incremento en diámetro, sólo incluye la madera; por lo tanto, es necesario referirse en forma constante a datos con corteza, por lo que es necesario transformar el incremento en diámetro sin corteza (Isc) en incremento en diámetro con corteza (Icc). Para lo cual es necesario multiplicar el Isc por un factor de conversión.

$$\mathbf{Icc = fc \times Isc}$$

Para el cálculo del factor de conversión de Isc a Icc, se grafican los valores del doble del grosor de la corteza (para obtener del incremento radial, el incremento en diámetro) y las clases diamétricas y dependiendo de la relación que representen, se pueden presentar tres casos:

a) Cuando dicha relación queda representada por una recta que parte del origen, el factor de conversión se obtiene dividiendo la suma de los valores de los diámetros con corteza (Dcc) entre la suma de los valores de los diámetros sin corteza (Dsc).

$$\mathbf{fc = \frac{Dcc}{Dsc}}$$

El Dsc, corresponde a los valores de las clases diamétricas menos el doble del grosor de la corteza (para considerar el grosor en diámetro y no en radio); por ejemplo: 15-3.4 = 11.6; 20- 4.0 = 16, hasta 70-7.1 = 62.9 (Cuadro Nº 2).

b) Cuando la relación representa una recta que corte a cualquiera de los ejes, se determina el factor de conversión para una clase diamétrica y este es aplicable para todas las demás (Cuadro Nº 2); por ejemplo:

Dcc20 - Dcc10 = 20.0 - 10.0 = 10
Dsc20 - Dsc10 = 16.0 - 7.1 = 8.9

factor de corrección de la clase diamétrica de 15 cm = $\frac{10}{8.9}$ = 1.1

c) Cuando la relación queda representada por una curva de cualquier tipo, el factor de conversión se calcula para cada una de las categorías como en el caso anterior; por ejemplo:

Dcc25 - Dsc15 = 25.0 - 15.0 = 10
Dsc25 - Dsc15 = 20.7 - 11.6 = 9.1

$$\text{Fc de la clase diamétrica de 20} = \frac{10}{9.1} = 1.1$$

En el presente caso la relación fue una curva y se calculó un factor de conversión por clase diamétrica (Cuadro N° 2); al multiplicar el factor de conversión de cada clase diamétrica por el incremento en diámetro sin corteza (Idsc) se obtiene el incremento en diámetro con corteza (Idcc). de cada clase diamétrica.

Columna 7. Se calcula el incremento en volumen (Iv) por árbol para cada clase diamétrica. al multiplicar el incremento anual en diámetro con corteza Icc (columna 6) por el volumen de 1 cm de diámetro de la categoría considerada (columna 4).

Por ejemplo:

Iv15 = 0.655 x 0.0273 = 0.01788.
Iv20 = 0.664 x 0.0408 = 0.02709.
hasta
Iv70 = 0.608 x 0.0846 = 0.05144

Columna 8. Se obtiene el porcentaje de incremento en volumen por árbol de cada clase diamétrica. al multiplicar por 100 el cociente que resulta de dividir el incremento en volumen (columna 7) entre el volumen por árbol de esa clase (columna 2). ejemplo:

Iv %15 = 0.01788 / 0.135 1 x 100 = 0.1324 x 100 = 13.24 %.
Iv %20 = 0.01709 / 0.308 1 x 100 = 0.08795 x 100 = 8.80 %.
hasta
Iv %70 = 0.05144 / 3.939 1 x 100 = 0.01305 x 100 = 1.31 %

Columna 9. El número de árboles por hectárea se obtiene de la sumatoria de todos los árboles por clase diamétrica entre la superficie en hectáreas del total de sitios muestreados.

Para este trabajo se utilizaron 15 sitios de 1,000 m^2; para obtener el número de árboles por hectárea. se consideró que si en 15,000 m^2, tenemos 87 árboles muestra en la clase diamétrica de 15 cm; en 10,000 m^2 (1Ha) tendremos X.

Por lo tanto X = 10,000 x 87 / 15,000 = 58 árb/Ha en la clase diamétrica. de 15 cm y así sucesivamente para las otras clases diamétricas.

Columna 10. Se determina el volumen por hectárea de cada clase diamétrica. multiplicando el N° de árboles/Ha. (columna 9) por el volumen de un árbol de la correspondiente clase diamétrica (columna 2).

Por ejemplo:

Vcd15 = 58 x .135 = 7.830 m^3,
Vcd20 = 41.3 x .308 = 12.720 m^3,
hasta
Vcd70 = 2.7 x 3.939 = 10.635 m^3

Columna 11. Se calcula el incremento corriente anual en volumen por hectárea de cada clase diamétrica, al multiplicar el número de árboles por hectárea (Columna 9) por el incremento en volumen por árbol de la correspondiente clase diamétrica (columna 7). Ejemplo:

Iv15 = 58 x 0.01788 = 1.037 m^3
Iv20 = 41.3 x 0.02709 = 1.119 m^3

La sumatoria de los resultados de cada clase diamétrica, proporciona el incremento corriente anual (ICA) en volumen.

Para determinar el ICA en porcentaje, se multiplica por 100 el cociente que resulta de dividir el valor del incremento anual en volumen entre el volumen total.

$$ICA\ \% = \frac{11.135}{376.384} = 2.96\%$$

2. Método del Área Basal

Para el cálculo del incremento por medio de este método, se sigue la rutina de llevar la información que se menciona en el Cuadro 4.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
CD (cm)	Vol/árb (m3)	N° Árb.	Idsc (cm)	ABxÁrb (m2)	Idcc (m)	Diám 1 año antes (m2)	ABxÁrb 1 año antes (m2)	IabxÁrb (m2)	Iab total Ha (m2)	ICA (m3)
15	0.135	58.0	.00595	017671	007676	142324	015909	001762	102196	1.072.343
20	0.308	41.3	.00609	031416	007613	192387	029070	002346	096890	1.016.667
25	0.543	42.0	.00500	049087	.00605	046740	002347	002347	098574	1.034.337
30	0.828	29.3	.00551	070686	006612	293388	067605	003081	090273	947235
35	1.153	36.7	.00509	.096211	005955	.344045	092965	.003246	119128	1.250.010
40	1.507	26.7	.00580	.125664	006728	393272	121472	.004192	111926	1.174.440
45	1.884	28.0	.00549	159043	006368	443632	154574	.004469	125132	1.323.010
50	2.278	30.0	.00539	196350	006199	493801	191512	004838	145140	1.522.954
55	2.683	13.3	.00466	237584	005312	544688	233016	004568	060754	637492
60	3.097	10.7	.00486	.282744	005492	594508	277592	.005152	055126	578437
65	3.516	7.3	.00531	331832	005947	644053	.325787	006045	044129	.463046
70	3.939	2.7	.00585	884846	006494	.693506	377739	.007107	019189	.201350
								1.068457 m3		11.211321 m3

Donde: CD = Clases diamétricas, Vol/árb = volumen por árbol, Idsc = Incremento en diámetro sin corteza, AB = área basal, Idsc = Incremento en diámetro con corteza, Iab = Incremento en área basal e ICA = Incremento corriente anual en volumen.

Cuadro N°4. Rutina de cálculo del incremento para el método del área basal.

Procedimiento:

Columna 1. Se anotan las clases diamétricas consideradas.

Columna 2. Se anota el volumen por árbol de cada clase diamétrica.

Columna 3. Se registra el número de árboles por clase diamétrica en una hectárea.

Columna 4. Se anota la media aritmética de los valores del incremento corriente anual en diámetro, el cual se obtiene de los datos de campo y es el incremento sin corteza (Idsc) en centímetros.

Columna 5. Se calcula el área basal por árbol para cada una de las clases diamétricas.

Por ejemplo:

$$AB15 = 0.7854\ (0.15)^2 = 0.017671\ m^2,$$
$$AB20 = 0.7854\ (0.20)^2 = 0.031416\ m^2,$$

hasta

$$AB70 = 0.7854\ (0.70)^2 = 0.384846\ m^2$$

Columna 6. Se determina el incrementó anual en diámetro con corteza (Idcc), multiplicando el incremento anual en diámetro sin corteza (Idsc) (columna 4) por el factor de conversión correspondiente a cada clase diamétrica.

Por ejemplo:

Para la clase diamétrica de 15 cm:

$$0.15 - 0.034 = 0.116;\ \text{por lo que}\ Fc15 = \frac{0.15}{0.116} = 1.29,$$

para la clase diamétrica de 20 cm:

$$0.20 - 0.040 = 0.160;\ \text{por lo que}\ Fc20 = \frac{0.20}{0.160} = 1.25,$$

hasta

para la clase diamétrica de 70 cm:

$$0.70 - 0.071 = 0.629;\ \text{por lo que}\ Fc70 = \frac{0.70}{0.629} = 1.11$$

Donde: 0.034, 0.040, 0.071 significan el doble del ancho de la corteza promedio.

Después:

$$Idcc15 = 0.00595 \times 1.29 = 0.007676\ m^3,$$
$$Idcc20 = 0.00609 \times 1.25 = 0.007613\ m^3,$$

hasta
Idcc70 = 0.00585 x 1.11 = 0.006494 m^3.

Columna 7. Se calcula el diámetro con corteza de cada clase diamétrica, para un ciclo anual anterior, restando simplemente al diámetro normal actual (columna 1) el incremento corriente anual en diámetro con corteza (columna 6).

Por ejemplo:

Diámetro anterior 15 = 0.15 - 0.007676 = 0.142324 cm,
diámetro anterior 20 = 0.20 - 0.007613 = 0.192387 cm,
hasta
diámetro anterior 70 - 0.70 - 0.006494 = 0.693506 cm.

Columna 8. Se calcula en área basal (AB) por árbol de cada clase diamétrica, para un año antes, para lo cual se eleva el cuadrado el diámetro con corteza un año antes y se multiplica por la constante 0.7854.

Por ejemplo:

AB anterior 15 = $(0.142324)^2$ x 0.7854 = 0.015909 m^2,
AB anterior 20 = $(0.192387)^2$ x 0.7854 = 0.029070 m^2,
hasta
AB anterior 70 = $(0.693506)^2$ x 0.7854 = 0.377739 m^2.

Columna 9. Se determina el incremento en área basal (Iab) por árbol de cada clase diamétrica, restando el área basal actual (columna 5) al área basal un año antes (columna 8).

Por ejemplo:

Iab anterior 15 = 0.017671 - 0.015909 = 0.001762 m^2,
Iab anterior 20 = 0.031416 - 0.029070 = 0.002346 m^2,
hasta
Iab anterior 70 = 0.344846 - 0.377739 = 0.007107 m^2

Columna 10. Se determina el incremento anual en área basal total por hectárea por clase diamétrica, multiplicando el incremento en área basal por árbol por el número de árboles por hectárea (columna 3).
Por ejemplo:

Iab/Ha15 = 0.001762 x 58 = 0.102196 m^2/Ha.
Iab/Ha20 = 0.002346 x 41.3 = 0.096890 m^2/Ha.
hasta
Iab/Ha70 = 0.007107 x 2.7 = 0.019189 m^2/Ha.

La sumatoria de los valores de la columna 10. proporciona el valor del incremento anual en área basal total por hectárea y que en este caso es de 0.100817m^2

Pero para el cálculo del incremento medio anual en volumen, es necesario calcular un **coeficiente** de **regresión** mediante una regresión lineal simple entre las variables área basal por árbol (x) y volumen (y).

La regresión se puede hacer fácilmente con una calculadora Texas Instruments modelo TI - 55.

Los valores de área basal por árbol se pueden determinar nuevamente en la calculadora o tomarlos de la columna 5. el volumen se toma de la columna 2, para ello se pulsa el primer valor de x 0.17671 utilizando la tecla x:y para los valores de x; después se introduce el valor de y (volumen) correspondiente al valor de x 0.135 y se aplica la tecla z^- para los valores de y, repitiendo la operación de manera sucesiva:

Por ejemplo:

Para CD20 : 0.031416 x:y 0.308 z^-,
para CD25 : 0.049087 x:y 0.543 z^-,
hasta
para CD70 : 0.384846 x:y 3.939 z^-

Una vez que se han alimentado todos los datos "x" y "y", el valor de la pendiente (b) o coeficiente de regresión, se obtiene al oprimir las teclas *2nd slope*.

Para obtener los valores de las sumatorias, se tiene:

Zxi se obtiene en la memoria *2 Rcl 2* = 1.984

Zxi^2 se obtiene en la memoria *3 Rcl 3* = 0.492

Zxy se obtiene en la memoria *4 Rcl 4* = 5.341

Zyi En la memoria 5

Zyi En la memoria 6 *2nd slope* = 10.493
n En la memoria 7 *2nd Corr* = 0.996

Para el cálculo manual del coeficiente de regresión muestreal b. se puede seguir la secuela que se indica en el cuadro N° 5.

Datos Originales			**Datos transformados**		
C D	**Vol.**	**X ÁREA BASAL**	**Y**	**X^2**	**XY**
15	0.135	0.017671	0.135	0.000312	0.002386
20	0.308	0.031416	0.308	0.000987	0.009676
25	0.543	0.049087	0.543	0.002410	0.026654
30	0.828	0.070686	0.828	0.004997	0.058528
35	1.153	0.096211	1.153	0.009257	0.110931
40	1.507	0.125664	1.507	0.015791	0.189376
45	1.884	0.159043	1.884	0.025295	0.299637
50	2.278	0.19635	2.278	0.038553	0.447285
55	2.683	0.237584	2.683	0.056446	0.637438
60	3.097	0.282744	3.097	0.079944	0.875658
65	3.156	0.331832	3.516	0.110112	1.166721
70	3.939	0.384846	3.939	0.148106	1.515908
		1.983	21.871	0.492	5.340

Cuadro N°5. Cálculo manual del coeficiente de regresión muestral b.

El cálculo de **b** se puede hacer siguiendo cualquiera de las dos alternativas siguientes:

Alternativa N° 1:

$$\Sigma xy \quad \frac{\Sigma x \, \Sigma y}{n} = 5.340 - \frac{1.983 \times 21.871}{12} = 1.726 \qquad (1)$$

Alternativa Nº 2:

$$\Sigma x^2 - \frac{(\Sigma x)^2}{n} = 0.492 - \frac{(1.983)^2}{12} = 0.164 \qquad (2)$$

Donde:

$$b = (1)/(2) = 1.726/\ 0.164 = 10.524$$

$$b = \frac{\Sigma\ xy - (\Sigma x)\ (\Sigma y)/n}{\Sigma\ x^2 - (\Sigma\ x)^2/n} = \frac{5.340 - (1.983)\ (21.871)/12}{0.492 - (1.983)^2/12} = \frac{1.726}{0.164}$$

$$= 10.524$$

por lo tanto el incremento en volumen será:

$$IV = b\ (I\ AB)$$

donde: b= Coeficiente de regresión

I AB= Incremento en área basal

IV= Incremento en volumen (m_3)

IV = 10.493 (Con calculadora) x 1.068457 = 11.211

IV = 10.524 (Manual) x 1.068457 = 11.2

3. Método Aguilar

Este método para el cálculo del incremento aunque no es de uso común o generalizado, se presenta por haberse desarrollado en México, su rutina de cálculo requiere llevar la información requerida en el cuadro Nº 6.

1	2	3	4	5	6	7
CD	Vol	Diferencia tiempo del paso x árb regular	Tiempo de paso x armónico	Incr anual del árb regular	N° árb/Ha	ICA (Tot/Ha)
15	0.135	0.173	8.6	0.020116	58.0	1.166744
20	0.308	0.235	8.4	0.027976	41.3	1.155417
25	0.843	0.285	9.5	0.030000	42.0	1.260000
30	0.828	0.325	8.9	0.036517	29.3	1.069944
35	1.153	0.354	10.2	0.034706	36.7	1.273706
40	1.507	0.377	7.8	0.048333	26.7	1.290500
45	1.884	0.394	9.1	0.043297	28.0	1.212308
50	2.278	0.405	9.8	0.041327	30.0	1.239796
55	2.683	0.414	10.7	0.038692	13.3	0.514598
60	3.097	0.419	9.9	0.42323	10.7	0.452859
65	3.516	0.423	9.2	0.045978	7.3	0.335641
70	3.939	0.423	8.3	0.050964	2.7	0.137602
75	4.362					
						11.109115

11.1 ICAm^3 / Ha

Cuadro N° 6. Rutina de cálculo del incremento por el Método Aguilar.

Procedimiento:

Columna 1. Se anotan las clases diamétricas.

Columna 2. Se anota el volumen del árbol tipo para cada clase diamétrica.

Columna 3. Se obtiene la diferencia en volumen del árbol regular que se supone es el incremento en volumen del árbol tipo al pasar de una categoría diamétrica a la siguiente.

Por ejemplo:

DiferenciaV15 : V20 - V15 = 0.308 - 0.135 = 0.173 m^3,
diferenciaV20 : V25 - V20 = 0.543 - 0.308 = 0-235 m^3,
hasta
diferenciaV70 : V75 - V70 = 4.362 - 3.939 = 0.423 m^3.

Columna 4. Se anotan los tiempos de paso medios armónicos por clase diamétrica, los que se obtienen fácilmente al sacar el inverso de todos los tiempos de paso individuales y sumarlos para obtener la media armónica; se divide el número de muestras (n) entre la sumatoria obtenida, el cociente de esta división es la media armónica. Cuando los tiempos de paso están agrupados por frecuencia se ahorra tiempo, pues basta dividir el número de tiempos de paso (f) entre su respectivo número de años.

Columna 5. Se obtiene el incremento anual del árbol regular, al dividir la diferencia del volumen del árbol regular (columna 3) entre el tiempo de paso armónico (columna 4).

Por ejemplo:

I 15 = 0.173 - 8.6 = 0.020116

Columna 6. Se anota el número de árboles por hectárea de cada clase diamétrica.

Columna 7. Se obtiene el incremento corriente anual (ICA) total por hectárea en cada clase diamétrica, al multiplicar el incremento anual del árbol regular (columna 5) por el número de árboles por hectárea. (columna 6). La suma de los valores de todas las clases diamétricas proporciona el incremento corriente anual por hectárea en metros cúbicos.

Si el valor del incremento se requiere en porcentaje, éste se obtiene multlipicando por cien el cociente que resulta al dividir los valores de la columna 5 (incremento anual del árbol regular) entre los valores de la columna 2 (volumen tipo).

4. Método Diferencial de Meyer

Este método ha tenido poco uso en México y su rutina de cálculo del incremento se lleva de la siguiente manera:

1	2	3	4	5	6	7	8
CD	Vol/ Arb	Diferencia del vol del árbol reg		Idcc	Inc anual	Número árboles/ Ha	ICA
10	0.035	0.100					
15	0.135		0.137	0.655	0.0179	58.0	1.0382
		0.173					
20	0.308		0.204	0.670	0.0273	41.3	1.1275
		0.235					
25	0.543		0.260	0.550	0.0286	42.0	1.2012
		0.285					
30	0.828		0.305	0.606	0.0370	29.3	1.0841
		0.325					
35	1.153		0.340	0.534	0.0363	36.7	1.3322
		0.354					
40	1.507		0.366	0.638	0.0467	26.7	1.2469
		0.377					
45	1.884		0.386	0.604	0.0466	28.0	1.3048
		0.394					
50	2.278		0.400	0.566	0.0453	30.0	1.3590
		0.405					
55	2.683		0.410	0.480	0.0394	13.3	0.5240
		0.414					
60	3.097		0.417	0.501	0.0418	10.7	0.4473
		0.419					
65	3.516		0.421	0.552	0.0465	7.3	0.3395
		0.423					
70	3.939		0.423	0.608	0.0514	2.7	0.1388
75	4.362						
						326	11.1435

Cuadro N°7 Rutina de cálculo del incremento por el método diferencial de Meyer.

Procedimiento:

Columna 1. Se registran las clases diámetricas consideradas.

Columna 2. Se anota el volumen del árbol tipo para cada clase diamétrica.

Columna 3. Se determina la diferencia en volumen entre las clases diamétricas sucesivas.

Por ejemplo:

V15 - V10= 0.135 - 0.035 = 0.100,
V20 - V15 = 0.308 - 0.308 = 0.173,
hasta
V75 - V70 = 4.362 - 3.939 = 0.423.

Columna 4. Se determina la medida del incremento en volumen en metros cúbicos, lo que es el cociente que resulta de la suma de las diferencias de volumen de las clases diamétricas sucesivas divididas entre 2.

Por ejemplo:

Para la CD15 : 0.100 + 0.173 = 0.273 / 2 = 0.137,
para la CD20 : 0.173 + 0.235 = 0.408 / 2 = 0.204
hasta
para la CD70 : 0.423 + 0.423 = 0.846 / 2 = 0.423

Columna 5. Se anota la media del incremento corriente anual en diámetro con corteza para cada clase diamétrica proveniente de los datos de campo, el cálculo del Idsc a Idcc se realizó de acuerdo con el método de Loetsch.

Columna 6. Se determina el incremento anual del árbol regular por clase diamétrica, al multiplicar la medida del incremento en volumen (columna 4) por la media del incremento en diámetro con corteza (columna 5) y el producto se divide entre 5.

Por ejemplo:

Para la CD15 : 0.137 x 0.655 / 5 = 0.0179,
para la CD20 : 0.204 x 0.670 / 5 = 0.271,
hasta
para la CD70 : 0.423 x 608 / 5 = 0.514

Columna 7. Se anota el número de árboles por hectárea de cada clase diamétrica.

Columna 8. Se determina el incremento corriente anual en volumen en metros cúbicos para cada clase diamétrica; para ello se multiplica el número de árboles por hectárea de cada clase diamétrica (columna 7) por el incremento anual del árbol regular de su correspondiente clase diamétrica (columna 6).

Por ejemplo:

Para laCD15 : 58 x 0.0179 = 1.0382 y
para la CD20 : 41.3 x 0.0271 = 1.1192

La suma de los valores de todos ellos proporciona el ICA m^3/Ha.

5. Método de Hufnagl, modificado por Aguilar.

Aguilar (*op. cit.*), describe una versión modificada del método de Hufnagl, cuya rutina para el cálculo del incremento se describe enseguida.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
CD	N° árb/ Ha	Vol m^3/ árb	Vol/ Ha	Incr cc	DAP después de 10 años	Vol árb. regular después de 10 a.	Vol total después de 10 a.	ICA
15	58.0	0.135	7.830	0.655	15.655	0.154	8.932	1.102
20	41.3	0.308	12.720	0.670	20.670	0.336	13.877	1.157
25	42.0	0.543	22.806	0.550	25.550	0.571	23.982	1.176
30	29.3	0.828	24.260	0.606	30.606	0.864	25.315	1.055
35	36.7	1.153	42.315	0.534	35.534	1.187	43.563	1.248
40	26.7	1.507	40.237	0.638	40.638	1.551	41.412	1.175
45	28.0	1.884	52.752	0.604	45.604	1.929	54.012	1.260
50	30.0	2.278	68.340	0.566	50.566	2.322	69.660	1.320
55	13.3	2.683	35.684	0.480	55.480	2.724	36.229	0.545
60	10.7	3.097	33.138	0.501	60.501	3.143	33.600	0.492
65	7.3	3.516	25.667	0.552	65.552	3.571	26.068	0.401
70	2.7	3.939	10.653	0.608	70.608	4.002	10.805	0.152
SUMAS			376.384				387.485	11.083

Cuadro N° 8. Rutina de cálculo del incremento por el método modificado de Hufnagl.

Procedimiento:

Columna 1. Se anotan las clases diamétricas consideradas.

Columna 2. Se anota el número de árboles por hectárea de cada clase diamétrica.

Columna 3. Se anota el volumen del árbol tipo de cada clase diamétrica.

Columna 4. Se determina el volumen por hectárea para cada clase diamétrica, el cual se obtiene al multiplicar el volumen del árbol tipo (columna 3) por el número de árboles por hectárea (columna 2).

Por ejemplo:

Para la CD15 : 0.135 x 58 = 7.830 m^3,
para la CD20 : 0.308 x 41.3 = 12.720 m^3,
hasta
para la CD70 : 3.939 x 2.7 = 10.653 m^3.

Columna 5. Se anotan los valores medios del incremento en diámetro con corteza, calculando el factor de corteza de acuerdo con el método de Loetsch.

Columna 6. Se determina el diámetro a la altura del pecho con corteza después de 10 años. Para lo cual la categoría diamétrica actual (columna 1) se le suma el valor del incremento con corteza de los últimos 10 años (columna 5) Ejem:

15 : 15 + 0.655 = 15.655
70 : 70 + 0.608 = 70.608

Columna 7. Se determina el volumen del árbol regular después de 10 años. En este punto es donde la metodología de Hufnagl es modificada, introduciendo para el pronóstico de los volúmenes 10 años después el modelo de Schumacher (Aguilar, *op. cit.*), este modelo es muy versátil demostrándose una más de sus aplicaciones y su precisión.

Para el cálculo del porcentaje del incremento en volumen, se resta al volumen total por hectárea después de diez años, el volumen actual por hectárea; esta diferencia se divide después entre este último volumen de la siguiente manera:

387.485 - 376.389 = 11.1

$$ICA = \frac{11.1}{376.384} \times 100 = 2.95\%$$

6. Método de Hoenadl

Esta metodología para el cálculo del incremento es poco conocida en México, fue introducida al país por Klepac (*op. cit.*); la rutina correspondiente se desarrolla enseguida.

1	2	3	4	5	6	7
CD	**N° arb/ Ha**	**CD x N**	$\bar{D}$	$A=D-\bar{D}$	$(D-\bar{D})^2$	$(D-\bar{D})^2n$
15	58.0	870	33.06	-18.06	326.20	18,917.50
20	41.3	826	33.06	-13.06	170.56	7,044.28
25	42.0	1,050	33.06	- 8.06	64.96	2,728.47
30	29.3	879	33.06	- 3.06	9.36	274.35
35	36.7	1,285	33.06	1.94	3.76	138.12
40	26.7	1,068	33.06	6.94	48.16	1,285.97
45	28.0	1,260	33.06	11.94	142.56	3,991.78
50	30.0	1,500	33.06	16.94	286.96	8,608.91
55	13.3	732	33.06	21.94	481.36	6,402.14
60	0.7	642	33.06	26.94	725.76	7,765.67
65	7.3	475	33.06	31.94	1,020.16	7,447.19
70	2.7	189	33.06	36.94	1,364.56	3,684.32
	326.0	10,776				68,288.69

Cuadro N° 9 Rutina de cálculo del incremento por el método de Hoenadl.

Procedimiento:

Columna 1. Se anotan las clases diamétricas consideradas

Columna 2. Se anota el número de árboles por hectárea de cada clase diamétrica, las cuales se suman al final (326).

Columna 3. Se anota el producto resultante de multiplicar el valor de cada clase diamétrica por el número de árboles que tiene cada una de ellas, sumándose estos valores al final (10,776).

Columna 4. Se calcula la media aritmética de los diámetros normales de acuerdo con:

$$\bar{D} = \frac{\Sigma nD \text{ (columna 3)}}{\Sigma n \text{ (columna 2)}}$$

Donde:

$\bar{D}$ = Promedio de las clases diamétricas.
D = Diámetros de las clases diamétricas.
n = Número de árboles por clase diamétrica.

$$\bar{D} = \frac{10,776}{326} = 33.06$$

Columna 5. Se calcula la diferencia entre la clase diamétrica (columna 1) y la media aritmética de los diámetros normales (columna 4).

Por ejemplo:

Para CD15 : 15 - 33.06 = -18.06,
para CD20 : 20 - 33.06 = -13.06,
hasta
para CD70 : 70 - 33.06 = -36.94

Columna 6. Esta diferencia se eleva al cuadrado en cada clase diamétrica.

Columna 7. Los cuadrados de estas diferencias en cada clase diamétrica se multiplican por el número de árboles que pertenecen a su correspondiente clase diamétrica, los números así obtenidos se suman y dividen entre el número total de árboles; al cociente. se le calcula la raíz cuadrada.

Por ejemplo:

$$\frac{68{,}288.69}{326} = 209.47$$

$$\sqrt{209.47} = \pm\ 14.47$$

Posteriormente se determina el diámetro normal (DN) de los dos árboles ejemplares (inferior y superior) a utilizar, de la siguiente manera:

DN inferior = 33.06 - 14.47= 18.59, que se aproxima a la CD 20, y
DN superior = 33.06 + 14.47 = 47.53, que se aproxima a la CD 50.

El incremento anual en volumen se obtiene por interpolación de la siguiente manera:

DN inferior = 20 - 18.59 = 1.41 cm
DN superior = 50 - 47.53 = 2.47 cm

Se calcula el incremento de las clases diamétricas de 20 y 25 y de 45 y 50 al seguir la siguiente secuela:

Paso 1. Se obtienen las diferencias entre los volúmenes de las clases diamétricas sucesivas consideradas, las diferencias se suman y se dividen entre 2. Ejem:

CD	Vol	Dif Vol	Σ dif/2	CD	Vol	Dif Vol	Σ dif/2
15	.135			40	1.507		
		.173				.377	
20	.308		.204	45	1.884		.386
		.235				.394	
25	.543		.260	50	2.278		
		.285				.405	.400
30	.828			55	2.683		

Paso 2. Con los resultados anteriores, se hacen los siguientes cálculos:

Para CD20 : 0.204 x 0.664/5 = 0.0271 y
para CD25 : 0.260 x 0.550/5 = 0.0286.

Para CD45 : 0.386 x 0.593/5 = 0.0458 y
para CD50 : 0.400 x 0.566/5 = 0.0453.

Los incrementos calculados de las categorías mencionadas se restan y la diferencia se multiplica por la diferencia D - el resultado se divide entre 5 y a éste se le suma el valor del incremento de la categoría diamétrica inferior, Ejem:

CD20-CD25 : 0.0271 - 0.0286 = -0.0015 y
CD45-CD50 : 0.0450 - 0.0453 = 0.0005

después:

-0.0015 x 1.41/5 = -0.00042 y 0.0005 x 2.47/5 = 0.00025;
0.0271 - 0.00042 = 0.0267 y 0.0458 + 0.00025 = 0.04605

El incremento corriente anual en volumen será:

$$\text{I.C.A.} = \frac{(\Sigma-) + (\Sigma+)}{2} = \frac{0.0267 + 0.04605}{2} = 0.036\ m^3$$

Núm. de árboles/Ha x I.C.A. = 326 x 0.036 m^3 = 11.7 m^3/Ha

7. Método rápido de Klepac

Este método fue introducido a México por el autor durante su estancia en nuestro país hace 20 años; dado el desempeño de este profesional en la enseñanza superior, fue enseñando a sus estudiantes (Klepac, *op. cit.*). La secuela de cálculo del incremento por este método se describe enseguida.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
				MEDIANA		M. GEOM.		M.(H) ARM.	
n arb/ Ha	VOL	CD	Vol Ha	P% I	P NV — 100	P%	P NV— 100	P%	P — 100
58.0	.135	15	7.830.	7.84	.61	6.94	.51	7.75	.61
41.3	.308	20	12.720	5.95	.76	5.21	.66	5.95	.76
42.0	.543	25	22.806	3.33	.76	3.77	.86	4.21	.96
29.3	.828	30	24.260	2.95	.72	3.27	.79	3.75	.91
26.7	1.153	35	42.315	2.80	1.19	2.77	1.17	2.80	1.18
28.0	1.507	40	40.237	2.58	1.04	3.13	1.26	3.21	1.29
30.0	2.278	50	52.752	1.95	1.03	2.06	1.09	2.44	1.29
13.3	2.683	55	68.340	1.87	1.28	1.92	1.31	2.04	1.39
10.7	3.097	60	33.138	1.52	.55	1.57	.56	1.70	.61
7.3	3.516	65	25.667	1.41	.35	1.55	.54	1.68	.56
2.7	3.939	70	10.635	1.59	.17	1.59	.17	1.72	.18
326					8.96 x 1.1 --- 9.9		9.35 x1.1 --- 10.3		10.16 x 1.1 --- 11.2

Cuadro N° 10. Rutina de cálculo del incremento por el método de Klepac.

Procedimiento:

Columna 1. Se anota el número de árboles por hectárea de cada clase diamétrica.

Columna 2. Se anota el volumen del árbol tipo de cada clase diamétrica.

Columna 3. Se anotan las clases diamétricas consideradas.

Columna 4. Se obtiene el volumen total por hectárea de cada clase diamétrica, al multiplicar el número de árboles por hectárea (Columna 1) por su correspondiente volumen (Columna 2).

Columnas 5, 7 y 9. Se calcula el porcentaje del incremento, mediante la siguiente fórmula:

$$P = \frac{1000}{D} \; \frac{1}{T}$$

Donde:
P = Porcentaje del incremento.
D = Diámetro normal.
T = Tiempo de paso medio.

$$P(Me) = \frac{1{,}000}{15} \; \frac{1}{8.5} = 7.84 \quad \text{(columna 5)}$$

$$P(MG) = \frac{1{,}000}{15} \; \frac{1}{9.6} = 6.94 \quad \text{(columna 7)}$$

$$P(MH) = \frac{1{,}000}{15} \; \frac{1}{8.6} = 7.75 \quad \text{(columna 9)}$$

En el presente ejemplo se usó el tiempo de paso basado en la mediana (Me), la mediana geométrica (MG) y la mediana armónica (MH) (Aguilar, *op. cit.*); además de que se debe incluir la aplicación de un factor de corrección de la corteza, que hasta el momento en ninguna aplicación del tiempo de paso se ha aplicado.

Columnas 6, 8 y 10. Los valores de las columnas 6, 8 y 10 se obtienen al multiplicar respectivamente los valores de las columnas 5, 7 y 9 por el producto de la columna 4 y dividiendo entre 100.

Por ejemplo:

Para Me15 : 7.84 X 7.830 = 0.61
Para MG15 : 6.94 X 7.830 = 0.51
Para MH15 : 7.75 X 7.830 = 0.61

Para Me20 : 5.95 X 1.2720 = 0.76
Para MG20 : 5.21 X 12.720 = 0.66
Para MH20 : 5.95 X 12.720 = 0.76

La suma de las columnas 6, 8 y 10 proporcionan el valor del complemento corriente anual en volumen, resultados que se multiplican por un factor de conversión de la corteza, que en este caso es el valor más frecuente (1.1) determinado de acuerdo con el método de Loetsch.

Mediana ICA = 8.96 x 1.1 = 9.9

M Geométrica ICA = 9.35 x 1.1 = 10.3

M Armónica ICA = 10.16 x 1.1 = 11.2

Observándose que el valor proporcionado por la media armónica es más preciso, comparándolo con los demás.

8. Método del porcentaje de Meyer

El cálculo del incremento en volumen por el método del porcentaje de Meyer, ha tenido uso limitado en México, su rutina se describe enseguida.

1	2	3	4	5	6
D	INC cc / Z	Z / D	Z b x 10 / D	Vol/ Ha	ICA/ Ha
15	6.55	0.4367	9.3435	7.830	0.7316
20	6.70	0.3350	7.1676	12.720	0.9117
25	5.50	0.2200	4.7071	22.806	1.0735
30	6.06	0.2020	4.3219	24.260	1.0485
35	5.34	0.1526	3.2650	42.315	1.3816
40	6.38	0.1595	3.4126	40.237	1.3731
45	6.04	0.1342	2.8713	52.752	1.5147
50	5.66	0.1132	2.4220	68.340	1.6552
55	4.80	0.0873	1.8679	35.684	0.6665
60	5.01	0.0835	1.7865	33.138	0.5920
65	5.52	0.0849	1.8165	25.667	0.4662
70	6.08	0.0869	1.8593	10.635	0.1977
				376.384	11.6

Cuadro N° 11. Rutina de cálculo del incremento por el método del porcentaje de Meyer.

Procedimiento:

Columna 1. Se anotan las clases diamétricas consideradas.

Columna 2. Se anota el incremento con corteza en cm y se le denomina (Z).

Columna 3. Se obtiene para cada clase diamétrica el cociente del incremento con corteza (columna 2) y el valor de esta clase diamétrica (columna 1).

Columna 4. Se multiplica el valor de la columna 3 (Z/D) por el coeficiente de regresión (b) previamente calculado y después por 10.

El cálculo de b, se hizo en una calculadora Texas Instruments modelo T1 - 55.

Para lo anterior, se registra el primer valor de X (diámetro) como su logaritmo de base 10 y su correspondiente valor de Y (volumen) también como logaritmo.

Por ejemplo: Para la clase diamétrica de 15, se registra 15 en la pantalla, se presiona *2nd Log* y aparece 1.1760913; este valor, se incluye en memoria con la tecla X:Y para los valores de X, después se registra en pantalla el valor del volumen correspondiente al valor de x que en este caso es 0.135 (observar cualquier método que tenga los volúmenes) y presionando las teclas *2nd Log* aparece el número - 0.8696662 y se guarda en la memoria con la tecla z+ para todos los valores de (y), obteniéndose los resultados dados a continuación.

b = 2.1395781

D	Y	Log 10 X	Log 10 Y	X^2	XY
15	0.135	1.176091	-0.86966	1.383190	-1.022806
20	0.308	1.301030	-0.511449	1.692679	-0.665410
25	0.543	1.397940	-0.265200	1.954236	-0.370734
30	0.828	1.477121	-0.081970	2.181886	-0.121080
35	1.153	1.544068	0.061820	2.384146	0.095468
40	1.507	1.602060	0.178113	2.566596	0.285348
45	1.884	1.653213	0.275081	2.733113	0.454767
50	2.278	1.698970	0.357554	2.886499	0.607474
55	2.683	1.740363	0.428621	3.028863	0.745956
60	3.097	1.778151	0.490941	3.1618210	0.872967
65	3.516	1.812913	0.546049	3.286654	0.989939
70	3.939	1.845098	0.595386	3.404387	1.098546
		19.027018	1.205289	30.664071	2.970435

$\Sigma xi = 19.027018$
$\Sigma xi^2 = 30.664072$
$\Sigma xy = 2.9704342$
$\Sigma yi = 1.2052886$

$$b = \frac{\Sigma xy - (\Sigma x)(\Sigma y)\, n}{\Sigma x - (\Sigma x)^2/n} = \frac{2.970435 - (19.027018)(1.205289)/12}{30.664071 - (19.027018)2/12}$$

$$b = \frac{1.059347}{0.4951198} = 2.1395771$$

Columna 5. Se obtiene el volumen total por hectárea, al multiplicar el número de árboles/Ha por el volumen del árbol tipo (consultar cualquier otro método que contenga estos conceptos).

Columna 6. Se multiplican los valores de la columna 4 de cada clase diamétrica por los correspondientes valores de la columna 5, y se divide este producto entre 100.

Por ejemplo:

Para CD15 : 9.3435 x 7.830/100 = 0.7316,
para CD20 : 7.1676 x12.720/100 = 0.9117,
hasta
para CD70 : 1.8593 x 10.635/100 = 0.1977

La suma de los valores de la columna 6 (11.6), proporciona el incremento corriente anual (ICA) en volumen (metros cúbicos); el ICA en porcentaje (%) se obtiene al dividir el valor del ICA entre el volumen total por hectárea de la columna 5 (376.384).

$$ICA\ \% = \frac{11.6}{376.384} = 3.08\ \%$$

9. Método de Lachaussee

	Mediana	Media Geom.	Media Armónica
$P = \frac{N10 + N15}{2T10} V15 = \frac{48 + 58}{.2 \times 10} X\ 0.135 =$ Incorporación	0.716	0.723	0.782
$P15 = 1/2 \frac{V20 - V15}{T15} + .N15 = 1/2 - \frac{0.308 - 0.135}{8.5} X\ 58 =$	0.590	0.523	0.583
$P20 = 1/2 \frac{V20 - V15}{T15} + \frac{V25 - V20}{T20} N20 = 1/2 \frac{308 - 0.135}{8.5} + \frac{0.543 - 0.308}{8.4} X\ 41.3 =$	0.998	0.878	0.993
$P25 = 1/2 \frac{V25 - V20}{T20} + \frac{V30 - V25}{T25} N25 = 1/2 \frac{0.543 - 0.308}{8.4} + \frac{0.828 - 0.543}{12} X\ 42 =$	1.086	1.079	1.218
$P30 = 1/2 \frac{V30 - V25}{T25} + \frac{V35 - V30}{T30} N30 = 1/2 \frac{0.828 - 0.543}{12} + \frac{1.153 - 0.828}{11.3} X\ 29.3 =$	0.769	0.861	0.974
$P35 = 1/2 \frac{V35 - V30}{T30} + \frac{V40 - V35}{T35} N35 = 1/2 \frac{1.153 - 0.828}{11.3} + \frac{1.507 - 1.153}{10.2} X36.7 =$	1.165	1.215	1.307
$P40 = 1/2 \frac{V40 - V35}{T35} + \frac{V45 - V40}{T40} N40 - 1/2 \frac{1.507 - 1.153}{10.2} + \frac{1.884 - 1.507}{9.7} X26.7 =$	0.982	1.088	1.109
$P50 = 1/2 \frac{V50 - V45}{T45} + \frac{V55 - V50}{T50} N50 = 1/2 \frac{2.278 - 1.884}{11.4} + \frac{2.683 - 2.278}{10.7} X\ 30 =$	1.086	1.131	1.269
$P60 = 1/2 \frac{V60 - V55}{T55} + \frac{V65 - V60}{T60} N60 = 1/2 \frac{3.097 - 2.683}{11.8} + \frac{3.516 - 3.097}{11} X10.7 =$	0.391	0.409	0.433
$P65 = 1/2 \frac{V65 - V60}{T60} + \frac{V70 - V65}{T65} N65 = 1/2 \frac{3.516 - 3.097}{11} + \frac{3.939 - 3.516}{10.9} X\ 7.3 =$	0.281	0.304	0.322
$P70 = 1/2 \frac{V70 - V65}{T65} + \frac{V75 - V70}{T70} N70 = 1/2 \frac{3.939 - 3.516}{10.9} + \frac{4.362 - 3.939}{9} X2.7 =$	0.116	0.121	0.131
	9.8	10.2	11.2

Cuadro N° 12. Rutina de cálculo del incremento por el método de Lachaussee.

Esta metodología también fue introducida por Klepac (*op. cit*,), antes era desconocida en México; la rutina de cálculo del incremento para este método se describe a continuación.

Procedimiento:

Este método considera la incorporación y para su determinación se aplica la fórmula:

$$I = \frac{ND - 5 + ND}{2T\ D-5} \times VD$$

Donde:

I = Incorporación
ND = Número de árboles de la clase diamétrica considerada.
ND-5 = Número de árboles de la clase diamétrica anterior a la considerada.
TD = Tiempo de paso de la clase diamétrica considerada.
TD-5 = Tiempo de paso de la clase diamétrica anterior a la considerada.
VD = Volumen de la primera clase diamétrica tomada como límite de medición.

Para la primera clase diamétrica el incremento en volumen se determinará de la siguiente manera:

$$IV = 1/2\ \frac{VD + VD-5}{TD} \times 15$$

Donde:

IV = Incremento en volumen.
VD = Volumen de la clase diamétrica considerada.
VD-5 = Volumen de la clase diamétrica anterior a la considerada.
TD = Tiempo de paso de la clase diamétrica actual.

Para las siguientes clases diamétricas el incremento en volumen se determinará como se indica enseguida:

$$IV = 1/2 \left(\frac{VD - VD\text{-}5}{TD\text{-}5} + \frac{VD + VD\text{-}5}{TD} \right)$$

Donde:

IV = Incremento en volumen del árbol regular de la clase diamétrica considerada.

(VD-5), (VD) y (VD+5) = Son los volúmenes promedios de los árboles con diámetros (D-5), (D) y (D+5).

(TD-5) y (TD) = Tiempos de paso medios de las categorías (D-5) y (D).

Para determinar el incremento anual en volumen para clase diamétrica, sólo basta multiplicar el incremento en volumen del árbol regular por el número de árboles de la correspondiente clase diamétrica; la suma de los valores de todas las clases diamétricas proporciona el incremento corriente anual en volumen por hectárea.

Para este cálculo se pueden obtener las medianas, la media geométrica y la media armónica, con este método se debe utilizar la media armónica y no la mediana, y mucho menos la media aritmética, ya que éstas subestiman el valor del incremento (Aguilar, 1983 c)[11]

Es necesario el uso de un factor de conversión de la corteza.

10.Método General de Tiempo de Paso

Aunque este método para el cálculo del incremento tenía cierto uso en el país, Klepac (*op. cit.*), durante su estancia en México lo presentó; la rutina se desarrolla enseguida.

[11] Aguilar R., M. 1983 (c). "Comparación y secuencia de cálculo de diez métodos para determinar el incremento". pp. 11-14.

1	2	3	4	5	6	7	8
CD	N° árb./Ha Incorporados después	P% de árb.	N°. árb tipo	Vol. árb.	Vol 10 años	Vol. tot.	IC'Am^3
15	58	13	50	0.135	7.830	6.750	-1.08
20	41	13	44	0.308	12.628	13.552	-0.924
25	42	11	42	0.543	22.806	22.806	0.000
30	29	13	29	0.828	24.012	24.012	0.000
35	37	11	37	1.153	42.661	42.661	0.000
40	27	13	27	1.507	40.689	40.689	0.000
45	28	12	29	1.884	52.752	54.636	1.884
50	30	11	30	2.278	68.340	68.340	0.000
55	13	10	15	2.683	34.879	40.245	5.366
60	11	10	11	3.097	34.067	34.067	0.000
65	7	11	7	3.516	24.612	24.612	0.000
70	3	12	4	3.939	11.817	15.756	3.939
					377.093	388.126	11.033

Cuadro N° 13. Rutina de cálculo del incremento por el método general de tiempo de paso.

Procedimiento:

Columna 1. Se anotan las clases diamétricas consideradas.

Columna 2. Se anota el número de árboles por hectárea de cada clase diamétrica considerada..

Columna 3. Se determina el porcentaje de árboles incorporados al dividir los valores del incremento anual en diámetro con corteza (observar el método de Loetsch, Columna 6) entre 50 y multiplicando por 100.

Por ejemplo:

Para la CD15 : 6.55 / 50 x 100 = 13%,
para la CD20 : 6.70 / 50 x 100 = 13%,
hasta
para la CD70 : 6.08 / 50 x 100 = 12%

Columna 4. Se determina el número de árboles 10 años después, al multiplicar el porcentaje de árboles incorporados a cada clase diamétrica (Columna 3) por el número de árboles por hectárea (Columna 2).

Por ejemplo:

Para la CD15 : 58 x 0.13 = 7.54 = 8

Lo que significa que después de 10 años, de 58 árboles que había, 8 pasaron a la siguiente clase diamétrica CD20, y en la CD15, quedaron 50 árboles.

Para la CD20 : 41 x 0.13 = 5.33 = 5

Es decir de 41 árboles en la CD20, pasan 5 a la CD25 quedando 36, más 8 que vienen de la CD15 quedando en total 44 (41 - 5 + 8 = 44).

Para la CD25 : 42 x 0.11 = 4.62 = 5; entonces: 42 - 5 = 37 + 5 = 42 y así sucesivamente.

Columna 5. Se anota el volumen del árbol tipo en cada clase diamétrica considerada.

Columna 6. Se obtiene el volumen total por hectárea al multiplicar los datos de la columna 5 (volumen por árbol tipo) por los datos de la columna 2 (número de árboles por hectárea).

Columna 7. Se determina el volumen total diez años después, al multiplicar los datos de la columna 5 (volumen por árbol tipo) por los datos de la columna 4 (número de árboles 10 años después).

Columna 8. Se determina el incremento corriente anual (ICA) en volumen, al obtener la diferencia entre el volumen total diez años después (columna 7) y el volumen total actual (columna 6), la suma de estos valores proporciona el valor del ICA total.

La determinación del ICA en porcentaje, se obtiene al dividir el valor del ICA en volumen total (final de la columna 8) entre el volumen total por hectárea (final de la columna 6), por 100.

$$ICA\ \% = \frac{11.0}{377.093} \times 100 = 2.92\ \%$$

11. Método de Kenneth Davis

Este método de cálculo del incremento, desconocido en México, también fue presentada por Klepac (*op. cit.*); la rutina de cálculo se desarrolla enseguida.

Es necesario señalar que la única diferencia con el método general del tiempo de paso, es en lo que se refiere al cálculo del porcentaje (%) de árboles ascendidos, para lo cual es necesario considerar el diámetro exacto medido en el campo, así como su incremento respectivo (incremento radial por 2).

Por ejemplo:

CD	Inc		SITUACIÓN
21.5	1.05	21. 5+2 (1.05) = 23.6	pasa a la CD25
19.2	0.30	19. 2+2 (0.3) = 19.8	se queda en la CD20
20.3	0.40	20. 3+2 (0.4) = 21.1	se queda en la CD20
21.7	0.40	21. 7+2 (0.4) = 22.5	se queda en la CD20
21.8	0.75	21. 8+2 (0.75) = 23.3	pasa a la CD25
21.6	0.65	21. 6+2 (0.65) = 22.9	pasa a la CD25

Es decir, del total de árboles que pasan a esta clase diamétrica se establece la siguiente relación:

$$\text{Porcentaje de árboles incorporados} = \frac{\text{Número de árboles que pasan}}{\text{Número total de árboles}}$$

Si fueron 36 árboles muestra en la clase diamétrica de 20 y se determinara que 13 de ellos pasaran en los próximos diez años a la de 25, el porcentaje sería igual a:

$$P = \frac{13}{36} \times 100 = 36\ \%$$

Con el porcentaje de árboles por clase diamétrica, se procede idénticamente que en el método general de tiempo de paso; es decir, se determina el número de árboles que se quedan y que se incorporan con cada categoría.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En resumen las características de cada método, se discuten enseguida: un análisis sencillo de los métodos mencionados nos muestra que todos utilizan para el cálculo del incremento los datos de volumen, incremento en diámetro con corteza y número de árboles, con excepción de los de Lachaussee, rápido de Klepac y Aguilar, que aplican el dato de incremento en diámetro, en sustitución del "Tiempo de Paso"

1. La versión modificada del método de Loetsch es relativamente fácil en la forma como la presentó hace ya más de 30 años por Villa-Salas (*op. cit.*), a excepción del factor de corrección de la corteza en el que se puede utilizar la regresión, pero esto no es siempre necesario. Cabe mencionar que por sus características, en este artículo, se tomo este método para establecer comparaciones, aunque lo ideal sería tener como testigo el incremento obtenido a través de la diferencia de dos pasos de inventario, de un modelo para análisis troncales, etc.

2. El método del área basal es laborioso pero sencillo, especialmente se recomienda la versión modificada realizada por Caballero en 1970 (*op. cit.*). Existe otra modificación por Aguilar en 1983 (*op. cit.*), pero esta sobrestima el incremento en un 3.6% lo que equivale en el ejemplo usado a 0.4 m^3/Ha. En el presente trabajo se utilizó la metodología tradicional del área basal, la cual con respecto al testigo (Loetsch) sobrestima el incremento en 0.9 % ó 0.1 m en el ejemplo.

3. El método Aguilar utiliza el tiempo de paso, presentándose la situación de que la media armónica da resultados precisos, mientras que la media geométrica y la mediana subestiman el incremento.

4. El método diferencial de Meyer se asemeja en algunos pasos al método modificado de Loetsch los cuales son sencillos, aunque con este método se sobrestima el incremento en 0.9 % ó 0.1 m^3 en el ejemplo.

5. El método de Hufnagl, modificado por Aguilar, es relativamente más complicado pero proporciona resultados precisos de incremento, la modificación se refiere a la proyección de los volúmenes 10 años después, utilizando para ello el modelo matemático de Schumacher, que es un modelo de gran versatilidad, pues ayuda también a efectuar correcciones de corteza y armonizar curvas de crecimiento para determinar la calidad de estación.

6. El método de Hoenadl es laborioso pero sencillo, aunque sobrestima el incremento en un 5.4%, equivalente a 0.6 m^3/Ha en el ejemplo.

7. El método rápido de Klepac es sencillo y utiliza igual que el de Lachaussee el volumen, número de árboles y tiempo de paso, genera resultados sin considerar la corteza. Se observa como en el método de Lachaussee, que la mediana subestima fuertemente el incremento y la media armónica se aproxima más al valor del testigo, usando el factor de conversión de la corteza.

8. El método del Porcentaje de Meyer tiene como lo más complicado relativamente, elaborar una regresión entre las clases diamétricas y el volumen, utilizando para ello logaritmos de base 10, para cuando dicha relación es una línea recta y aún para los casos en los cuales esta relación no da líneas rectas perfectas. Este método sobrestima el incremento en 4.5% ó 0.5 m^3/Ha en el ejemplo.

9. El método de Lachaussee es sumamente sencillo, tan sólo basta sustituir en la fórmula de Lachaussee el volumen, número de árboles y tiempo de paso, este método proporciona además, la incorporación de la masa. Hubo observaciones importantes tales como: la mediana subestima el incremento en un 10.8% equivalente a 1.2 m^3/Ha. La media geométrica en 7.2% ó 0.8 m^3/ha., pero cabe aclarar que aquí intervino un factor de conversión de la corteza, el cual es necesario usar cuando se trabaja con este parámetro.

En este caso se utilizó el factor de conversión de la corteza más frecuente por clase diamétrica, determinado de acuerdo con Loetsch y que fue de 1.1; si se utiliza un promedio de los mismos, este baja a 1.07.

Los conservadores pueden utilizar la media armónica sin considerar el factor de conversión de la corteza; o bien, considerar el promedio de dicho factor.

10. En el método general de tiempo de paso, se utiliza el incremento para obtener mediante una relación el porcentaje de árboles incorporados, utilizándose además el volumen y número de árboles; es sencillo y práctico, dando resultados que subestiman al incremento en 0.9% que equivale a 0.1 m^3/Ha en el ejemplo.

11. El método de Kenneth Davis es muy simplista y sólo proporciona resultados aproximados.

12. En síntesis se puede decir que los métodos general de tiempo de paso, rápido de Klepac, Lachaussee y Aguilar son fáciles y proporcionan resultados aceptables. Le

siguen en orden de relativa dificultad y aceptabilidad de resultados los de Meyer. Loetsch. área basal y Hufnagl. finalmente se observó que los métodos de Hoenadl y del porcentaje de Meyer sobrestiman fuertemente el incremento.

BIBLIOGRAFÍA

Aguilar R., M. 1983(a). "El método de Hufnagl modificado por Aguilar". CIFO-INIF. Uruapan. Michoacán. Notas Técnicas N° 1 (1): 15-21.

Aguilar R., M. 1983(b). "Un nuevo método para determinar el incremento denominado "Método Aguilar". CIFO-INIF. Uruapan. Michoacán. Notas Técnicas 1 (1): 22-23.

Aguilar R., M. 1983(c). "Comparación y secuencia de cálculo de diez métodos para determinar el incremento". CIFO-INIF. Uruapan. Michoacán. Notas Técnicas 1 (1): 11-14.

Caballero D., M. 1970. "Discusión y descripción de una metodología para estimación de los incrementos de Bosques de Coníferas en función del Área Basal". A.M.P.F., A.C. México. D.F. México y sus Bosques: 19-34.

Husch, B. 1971. Planificación de un Inventario Forestal. D.R.F. Departamento de Montes. FAO, Roma. 136 p.

Klepac, D. 1976. Crecimiento e Incremento de Árboles y Masas Forestales. Departamento de Enseñanza e Investigación y Servicio en Bosques: UACH. Chapingo. México. 365 p.

Loetsch, F. 1953. "Massen Zuwachsermittlung durch Bohrspan prohen unter Auwendung matematish-statistischer Methoden". Zeitschrift fur Weltforwirthscharft. 3: 77-93 (Alemania).

Loetsch, F. *and* K. E. Haller. 1973. Forest Inventory. Vol I. 2° edición. (versión en inglés de E.F. Brünning). BLV Verlagssgesellschaft. München. 436 p.

Loetsch, F.; F. Zöhrer *and* K. E. Haller. 1973. Forest Inventory. Vol. II. (versión en inglés de E.F. Brüning) BLV Verlagsgesellschaft. München. 472 p.

Spurr. H. S. 1952. Forest Inventory. John Wiley and Sons. New York. 476 p.

Villa-Salas. A. B. 1963. Cálculo de incrementos en los bosques de coníferas. INIF. Bol. Téc. N°11. México. D.F. 36 p.

Villa-Salas. A. B. 1970. Una metodología para la medición y el cálculo del incremento en bosques de coníferas. I.N.F. México. D.F. Publicación N° 17. 40 p.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan un especial agradecimiento al Lic. Javier Sosa Cedillo y al Ing. Carlos E. González Vicente. por el particular empeño que pusieron para la mejor presentación de este artículo.

EVALUACIÓN DE LOS COMBUSTIBLES FORESTALES EN LOS BOSQUES DEL DISTRITO FEDERAL

Rodríguez Trejo Dante Arturo*
Sierra Pineda Antonio**

RESUMEN

Con base en la metodología de Brown (1974) se estimaron las cargas promedio y máxima de combustibles forestales superficiales en los bosques del Distrito Federal (D.F.). así como la proporción de éstos por tipos (renuevo y reforestación. arbustos. zacates y plantas anuales. hojarasca. y combustibles leñosos con tiempos de retardo del 1. 10. 100 y 1.000 horas). Los objetivos del trabajo fueron realizar el primer inventario de combustibles del D.F. (hasta la fecha el que cubre una mayor superficie en el país) y contar con información para alimentar al sistema híbrido computarizado de inteligencia artificial EXTINGE (Experto Técnico de Incendios Generalizados). Las cargas medias encontradas son: zacatonal (7.981 Ton/Ha). matorral xerófilo (11.937 Ton/Ha). bosque de latifoliadas (13.335 Ton/Ha.). pinar o asociación pino-latifoliadas (23.321 Ton/Ha). oyametal o asociación oyamel-pino (27.217 Ton/Ha). asociaciones oyamel-pino u oyamel-latifoliadas. bajo saneamiento forestal (64.255 Ton/Ha).

Palabras clave: Incendios forestales. combustibles forestales. inventario de combustibles. Distrito Federal.

ABSTRACT

Using the Brown methodology (1974). were estimated the Distrito Federal forest's. superficial forest fuels loads. and the proportion of different kinds of this (renewal and

* Ingeniero Agrónomo Especialista en Bosques. Profesor Investigador . División de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma Chapingo.
** Ingeniero Agrónomo Especialista en Bosques. Consultor independiente.

reforestation, shrubs, grasses, annual plants, litter and 1, 10, 100 and 1,000 h time lag woody fuels). The work objectives are to realize the first one forest fuels inventory in the Distrito Federal (the biggest in the country until of date), and to have information to the hybridous computarized system EXTINGE (Technic Expertise in Generalized Forest Fires). The average loads are: grassland (7.981 Ton/Ha), Shrubland (11.397 Ton/Ha), broad leaf forest (13.335 Ton/Ha), pine forest or association pine-broad leaf species (23.321 Ton/Ha), true fir or association true fir-pine (27.217 Ton/Ha), association true fir-broad leaf species, under forest sanitation (30.936 Ton/Ha), and true fir forest, under forest sanitation (64.255 Ton/Ha).

Key words: Forest fires, forest fuels, fuels inventory, Distrito Federal.

OBJETIVO

Determinar la carga de combustibles forestales que pueden ser consumidos por incendios de tipo superficial en los bosques del Distrito Federal con el propósito de alimentar el sistema computarizado de inteligencia artificial Experto Técnico de Incendios Generalizados (EXTINGE), para la prevención y combate de incendios.

ASPECTOS GEOGRÁFICOS Y BIÓTICOS DE LOS BOSQUES DEL DISTRITO FEDERAL

El Distrito Federal cuenta con una superficie de 147,900 ha (Romero *et al.*, 1985)[1], de las cuales el 68.3% corresponde a zonas no urbanas (COCODER, 1984)[2]. Al norte de esta entidad se encuentra la Sierra de Guadalupe, al este la Sierra de Santa Catarina, al oeste la Sierra de las Cruces y al sur las Sierras de Chichinautzin y del Ajusco. A esta última corresponde la cota más elevada, el Pico del Aguila, con 3,952 msnm (Sierra, Garduño y Yañez, 1979)[3]. Acorde con Garcia y Falcón (1980)[4], predominan las rocas volcánicas extrusivas, así como los suelos derivados de cenizas volcánicas y de Ando. Garcia (1981)[5] cita para el norte de la ciudad, en San Juan de Aragón (2,249 msnm),

[1]Romero, *et. al.* 1985. La Ciudad de México. *In:* D.D.F. Imagen de la gran capital. pp 47-65.
[2]COCODER. 1984. Programa rector de uso del suelo y desarrollo agropecuario y forestal.
[3]Sierra P., A.; R. Garduño G. y O. Yañez. 1979. Propósitos, planeación y desarrollo del proyecto. **In** Sánchez C., L. *et. al.* La reforestación en el D.F. pp. 23-59.
[4]Garcia de M., E. y Z. Falcón de G.. 1980. Atlas de la República Mexicana.
[5]Garcia de M., E. 1981. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen.

un clima seco, con una temperatura media anual de 15.8° C y una precipitación pluvial de 550 mm, en tanto que para el suroeste, en el Desierto de los Leones (3,200 msnm), cita un clima templado subhumedo, con 10.7° C y 1,300 mm. Esta autora refiere un régimen de lluvias en verano.

Respecto a la vegetación, Rzedowski y Rzedowski (1981)[6] señalan que los pinares se encuentran entre los 2,350 y 3,000 msnm, con especies como *Pinus montezumae*, *P. leiophylla* y *P. rudis*. Entre la última cota y los 3,950 msnm, se encuentra *P. hartwegii*. Los encinares, con *Quercus mexicana* y *Q. rugosa*, entre muchas otras especies, se establecen entre los 2,350 y 3,100 msnm, mientras que los oyametales (*Abies religiosa*) se localizan a partir de los 2,700 msnm y hasta los 3,500 msnm. Al norte, sobre la Sierra de Guadalupe, se encuentra el matorral xerófilo, con especies como el "Palo Dulce" (*Eysenhardtia polystachya*) y la "Uña de Gato" (*Mimosa acanthocarpa*). COCODER (1984)[7] cita, para las siete Delegaciones Políticas del sur del D.F., las siguientes superficies por tipo de vegetación: Pinar (16,425 Ha), pinar con latifoliadas o viceversa (4,575 Ha), oyametal (2,672 Ha), oyamel con pino o latifoliadas en diversas proporciones (9,328 Ha) y latifoliadas (3,178 Ha), para un total de 36,178 Ha.

La Subdirección General de Información y Sistemas Forestales (1980)[8], estima para la entidad, 14 especies de anfibios, 33 de reptiles, 309 de aves y 56 de mamíferos. COCODER (*op. cit.*) cita dentro del primer grupo a la rana de árbol (*Hyla lafrantzi*) y a la salamandra (*Pseudoerycea leprosa*); al segundo corresponden el camaleón (*Phrynosoma orbiculare*) y la víbora de cascabel (*Crotalus triseriatus triseriatus*); al tercero la gallina de monte (*Dendrortyx macroura*) y el azulejo (*Cianocitta stelleri*) y al cuarto el zacatuche (*Romerolagus diazi*), el venado cola blanca (*Odocoileus virginianus*) y el lince (*Lynx rufus escuinape*).

Los bosques del Distrito Federal abarcan 36,178 Ha. Además existen plantaciones forestales recientes de diversas especies (más de 16), establecidas a partir de 1979 sobre variadas calidades de suelo y entre precipitaciones de 550 a más de 1,200 mm. Se debe apuntar que Cedeño (1988)[9], considera en peligro de extinción a los bosques de la Serranía del Ajusco, debido a la explosión demográfica, contaminación ambiental, derribos clandestinos, incendios forestales, pastoreo incontrolado, litigios forestales y plagas.

[6]Rzedowski, J. y Rzedowski, G. C. de. 1981. Flora fanerogámica del Valle de México.
[7]COCODER. 1984 . Programa rector de uso del suelo y desarrollo agropecuario y forestal.
[8]S.G.I.S.F. 1980. *Vademecum* forestal mexicano.
[9]Cedeño S., O. 1988. ¿Están los bosques de la Serranía del Ajusco en peligro de extinción?

METODOLOGÍA

Diseño de muestreo

En mapas de uso del suelo (escala. 1 : 25.000) de COCODER (1984. *op. cit.*). para el sur del D.F . se presentan 8 asociaciones arbóreas con espesuras de I a V. que equivalen a 40 estratos. Para el propósito de este trabajo se redujeron a 14 estratos: pino. oyamel. latifoliadas. oyamel-pino. pino-latifoliadas y oyamel latifoliadas. cada uno con dos espesuras (A ≤ 60% y B > 60%). Incluyendo matorral xerófilo y zacatonal se obtiene la cifra señalada. En las mezclas no importó cual de los grupos era el dominante.

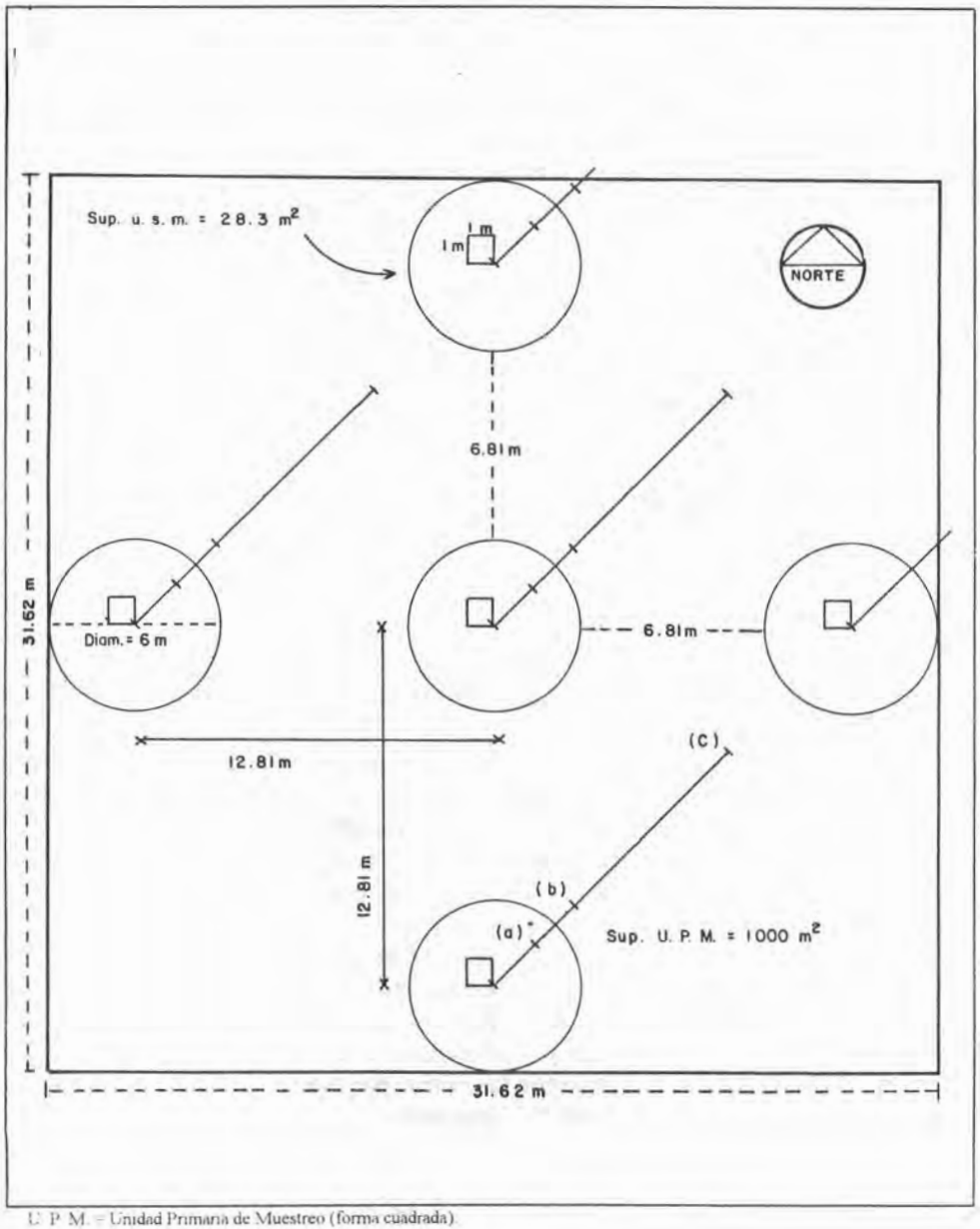
Los combustibles fueron clasificados en: arbolado joven y renuevo. con un DAP ≤ 5 cm (se ha observado en campo que los incendios superficiales de baja intensidad generalmente no consumen árboles más grandes. aunque obviamente sí los dañan): arbustos. zacates. plantas anuales (aunque en poca cuantía. estas últimas aportan combustible para los incendios). hojarascas y materiales leñosos como troncos. ramas. ramillas. conos y cortezas caídos.

Con el propósito de estimar su carga. cada tipo de combustible requirió de diferente unidad de muestreo. en razón de lo cual y con fines prácticos. dichas unidades se arreglaron dentro de un conglomerado o Unidad Primaria de Muestreo. con una superficie de 0.1 Ha. compuesta por cinco unidades secundarias de muestreo. una central y las cuatro restantes hacia los puntos cardinales (Figura No.1).

Los 14 estratos se transfirieron a un mapa topográfico del D.F.. escala 1 : 50.000. cuadriculado a 100 Ha. Se asignó un conglomerado cuando algún estrato ocupaba un mínimo de 40 Ha. por cuadro de 100 Ha. dentro de las zonas forestales. El muestreo fue estratificado y por conglomerados. Se levantaron en campo un total de 141 conglomerados. que equivalen a una intensidad de muestreo de 0.04%.

Trabajo de campo

En las unidades secundarias de muestreo. de forma circular. se muestrearon arbolado joven y arbustos. De los primeros se midió diámetro basal (a 5 cm del suelo) y altura. De los segundos se midieron diámetro de copa mayor. diámetro de copa menor y altura. previa identificación de la especie o colecta del ejemplar. en ambos casos. En los cuadros de 1 m^2 se midió la altura (o la profundidad) y se estimó la cobertura a zacates. plantas anuales. hojarascas de coníferas y hojarascas de latifoliadas.



U. P. M. = Unidad Primaria de Muestreo (forma cuadrada).
u. s. m. = unidad secundaria de muestreo (forma circular).

Figura Nº 1. Diagrama del arreglo de las unidades de muestreo.

Para los materiales leñosos se adecuó la metodología de Brown (1974, *cit. pos.* Sánchez y Zerecero 1982)[10], ubicándose una línea de 12 m de longitud a partir del centro de cada unidad secundaria de muestreo, con dirección noreste. En los dos primeros metros de dicha línea (a), se contaron los materiales leñosos con un diámetro ≤ 0.5 cm y de entre 0.6 a 2.5 cm . En los primeros 4 m (b) se obtuvo la frecuencia de los que tuvieron un diámetro de 2.6 a 7.5 cm y en toda la línea (c), la de aquellos con un diámetro superior a los 7.5 cm. Estas mediciones se hicieron con la ayuda de un calibrador de aluminio, basado en el modelo presentado por Brown (*op.cit.*). Cabe recordar que las categorías diamétricas referidas corresponden a los tiempos de retardo de 1, 10, 100 y 1,000 hr, respectivamente. Las alturas y diámetros de copa se midieron con cinta métrica, aproximando a 5 cm y en la medición de profundidades se aproximó a 1 cm. Los diámetros basales se midieron con vernier de plástico, aproximando a 1 cm y las coberturas se estimaron en rangos de 10%.

Trabajo de laboratorio y gabinete

Por el método de cosecha se obtuvieron dos muestras de 1 m^2 de zacatonal, plantas anuales, hojarasca de pino (*Pinus ayacahuite*) y hojarasca de latifoliadas (*Quercus* spp.) en diversos parajes del Parque Cultural y Recreativo Desierto de los Leones y en otros bosques del Distrito Federal. Previamente a la cosecha, se hicieron las mediciones de altura o profundidad y cobertura. Cada muestra se deshidrató en estufa para obtener su peso anhidro. Este se dividió entre su volumen base (obtenido al multiplicar la altura o la profundidad promedio por la cobertura). A partir de este resultado se calculó un valor, en Ton/Ha, cuyo promedio de dos observaciones se denominó constante (Cuadro N° 1). Para obtener la carga de este tipo de combustibles, por conglomerado, se multiplicó el volumen base promedio (m^3) de los cinco cuadros de 1 m^2 de cada conglomerado por la(s) constante(s) correspondiente(s).

Se cosecharon 17 arbustos de diferente especie (5 de matorral xerófilo y el resto de bosques de oyamel, pino o latifoliadas), previa identificación o colecta de ejemplar y medición de la altura y los diámetros de copa mayor y menor. Los tallos y ramas de cada ejemplar se cubicaron en verde y se obtuvieron una o dos secciones de tallo con 15 cm de longitud y se hizo lo mismo con las ramas, por especie. Estas se cubicaron en verde, aproximando a 0.1 cm de diámetro y longitud, se secaron en estufa y se obtuvo

[10] Sánchez C., J. y G. Zerecero L. 1983. Método práctico para calcular la cantidad de combustibles leñosos y hojarasca.

TIPO DE COMBUSTIBLE	CONSTANTE (Ton/Ha)*
Zacatonal	Kz = 22.982
Plantas anuales	Ka = 30.094
Hojarascas de pino	Kp = 368.983
Hojarasca de latifoliadas	Kl = 159.856

Cuadro N° 1. Constantes para la determinación de la carga en zacatonal, plantas anuales y hojarascas.

su peso anhidro, aproximando a 0.1 gr. Dividiendo este último entre el volumen en verde se calculó la densidad básica de cada sección. Promediando este valor en tallos por un lado y ramas por otro, se obtuvo la densidad básica de tallos y ramas por especie. Multiplicando estos valores por el volumen en verde de tallos y ramas por muestra, se determinó el peso anhidro de tales elementos por muestra, que al dividirse entre el volumen base correspondiente (producto de la altura por el diámetro de copa mayor y por el diámetro de copa menor), arrojó el peso anhidro de tallos y ramas por m^3 de volumen base, por especie. Dividiendo el peso anhidro del follaje de cada especie entre su volumen base, se calculó la misma relación (Cuadro No.2).

Las muestras se colectaron en diversos parajes del sur y norte del D.F. Es importante señalar que puede haber variaciones del orden del 50% en las constantes de los arbustos, tal y como se halló en determinaciones previas. Sin embargo, esto se debe a la variación de la proporción de tallos y ramas que se da dentro de una misma especie y que depende de factores hereditarios, del ambiente físico (como precipitación, suelo y altitud), y bióticos (cobertura del dosel árboreo y densidad de arbustos), que a nivel de arbustos, al menos en México, han sido poco estudiados. Al respecto, Clausen (1948, *cit. pos.* Nebel, 1987)[11], refiere que pueden observarse numerosos ejemplos de especiación en curso y puntualiza que muchas especies de plantas que habitan zonas montañosas comprenden diversas variedades, algunas mejor adaptadas para las elevadas altitudes y otras para las bajas. El autor ejemplifica con una herbácea que reduce su tamaño variando notablemente su proporción de hojas, y el tamaño de éstas, conforme se le encuentra en las partes más altas de la Sierra Nevada , E.U.A.

*Para expresar en Kg / m^2, dividir por 10.

[11] Nebel, B. J. 1987. Enviromental science

Por su parte. Zobel y Talbert (*op. cit.*) citan: "Se ha propuesto y utilizado toda una serie de categorías para describir los patrones de variación genética. Entre estas las más importantes son el 'ecotipo' y la 'clina'. términos que se utilizan más ampliamente en las áreas de la ciencia conocidas como especiación y evolución".

BOSQUES DE OYAMEL, PINO O LATIFOLIADAS			
ESPECIE	TALLO	RAMAS	FOLLAJE
Acaena elongata	0.390	0.140	2.208
Buddleia sp.	0.106	0.193	0.726
Cestrum trisodium	0.042	0.008	0.026
Penstemon campanulatus	0.093	0.031	0.616
P. gentianoides	0.227	0.078	0.264
Ribes sp.	0.034	0.016	0.020
Senecio angulifolius	0.112	0.047	0.029
S. barba-johannis	0.301	0.067	0.045
S. cinerarioides	0.033	0.024	0.026
S. salignus	0.109	0.099	0.039
Solanum cervantesi	0.035	0.048	-------
Wigandia sp.	0.288	0.000	0.131
MATORRAL XERÓFILO			
ESPECIE	TALLO	RAMAS	FOLLAJE
Mimosa acanthocarpa	0.202	0.242	0.057
Salvia sp.	0.162	0.063	0.046
Aster sp.	0.653	0.144	0.065
Viguiera excesa	0.138	0.119	0.074
Loeselia mexicana	0.049	0.086	0.041

Cuadro N° 2. Constantes para la determinación de peso anhidro (Kg) por m^3 de volumen base en arbustos.

RUBRO	PINOS	OYAMEL	CEDRO	LATIFOLIADAS	SUMA
N° de árboles cubicados (tallos y ramas).	9	2	1	7	19
Coeficiente mórfico.	0.42	0.42	0.46	0.53	--
Proporción de ramas (vol. ramas/vol. tallo).	0.46	0.31	0.38	0.26	--
N° de ramas cuyo follaje se pesó anhidro.	8	3	5	12	28
Relación exponencial entre peso anhidro de follaje, en gr. (PAF) y longitud de rama, en cm (x). $PAF = Ae^{Bx}$ e = 2.71828	*	A = -0.94909 B = 0.05750 r = 0.91	A = -0.79930 B = 0.05750 r = 0.97	A = 0.24924 B = 0.03496 r = 0.89	--
Relación entre el número de ramas(NR) y la altura del árbol en cm (H).	NR = A+BH A = -4.5505 B = 0.17230 r = 0.92	NR = H/5	NR = H/3.7	NR = A+BH A = -0.81030 B = 0.10808 r = 0.98	--
Peso anhidro del follaje para la rama promedio (gr)	4.6	2.9	1.9	2.9	--

Cuadro N° 3. Constantes y relaciones empleadas para la estimación de volumen y peso anhidro en árboles con un DAP ≤ 5 cm

El volumen base (m^3) obtenido de las cinco unidades secundarias de muestreo de cada conglomerado en el muestreo extensivo, se extrapoló a una hectárea y se multiplicó por la constante de la especie dominante, o por el promedio de las constantes de las principales especies. En pocos conglomerados no se abarcaron las especies consideradas en el trabajo de laboratorio. Cuando esto sucedió, se empleo el promedio de las constantes de todas las especies de bosque de oyamel, pino o latifoliadas. Para el matorral xerófilo siempre se utilizó el promedio de las cinco especies estudiadas en laboratorio para dicho ecosistema.

Los árboles se dividieron en cuatro grupos para estimar su peso anhidro: pinos, latifoliadas, oyamel y cedro. Los más abundantes en el muestreo extensivo fueron los primeros. Se colectaron y cubicaron en verde diecinueve árboles con diámetros basales de 0.4 cm a 4.9 cm y alturas de 37 a 465 cm, principalmente en el Desierto de los Leones y en el derrame lávico del Volcán Xitle. A cada grupo se le calculó el coeficiente mórfico promedio y la proporción de ramas promedio (vol. ramas/vol. tallo) (Cuadro Nº 3).

Con estos valores se elaboraron cuadros de volumen, para diámetros basales de 1,2,...,8 cm y alturas de 25, 75,..., 475 cm, que sirvieron para la estimación del volumen de tallo y ramas en cada grupo. Multiplicando éstos por la densidad básica de la madera de cada especie (consultada en diversas fuentes bibliográficas), se determinó el peso anhidro de tallos y ramas. También se obtuvo el peso anhidro del follaje de tres a doce ramas por grupo y se halló una tendencia exponencial entre dicho peso y el largo de la rama. Asimismo, se halló una relación lineal entre el número de ramas y la altura del árbol, en pino y latifoliadas. Multiplicando el número de ramas (por categorías de altura) por el peso anhidro del follaje (para la longitud promedio de las ramas), se calculó el peso anhidro del follaje por categoría de altura. Estas relaciones y valores aparecen en el cuadro Nº 3.

Las frecuencias de materiales leñosos, por categoría diamétrica, se transformaron en peso, de acuerdo con las formulas citadas por Brown (*op. cit.*), aquí se presentan referidas a las longitudes y número de líneas por conglomerado empleadas en este trabajo (cuadro Nº 4).

Respecto al relativamente bajo número de muestras de laboratorio, es importante hacer notar que conforme éstas se incrementen, se requerirá de más tiempo, recursos humanos y materiales, así como de instalaciones de laboratorio, ya que actividades como la cubicación de decenas de tallos, cientos de ramas y el conteo de miles de hojas que conforman un arbusto, así como la defoliación de ramas de oyamel y pino para el secado del follaje y la deshidratación en estufa de decenas de muestras de tallos, ramas

DIAMETRO (cm)	LONG. DE LINEA (m)	N° DE LINEAS	FORMULA
< 0.55	2	5	$Po=\frac{0.484\,(f)(c)}{32.81}$
0.6 a 2.5	2	5	$Po=\frac{3.369\,(f)(c)}{32.81}$
2.6 a 7.5	4	5	$Po=\frac{36.808\,(f)(c)}{65.62}$
> 7.5 (no podridos)	12	5	$Po=\frac{1.46\,(f)(c)}{196.85}$
> 7.5 (podridos)	12	5	$Po=\frac{1.21\,(f)(c)}{196.85}$

Donde: Po= Peso anhidro (Ton/Ha),f= frecuencia y c= factor de corrección por pendiente:

% de pendiente	0	10	20	30	40	50	60	70	80
C	1.00	1.00	1.02	1.04	1.08	1.12	1.17	1.22	1.28

Cuadro N° 4. Fórmulas para determinación de peso anhidro en leñas.

y follaje, son labores que deben hacerse con todo cuidado. Por otro lado, autores como López y Keyes (1987)[12] hicieron modelos para la estimación de biomasa en *Pinus cembroides* a partir de nueve árboles y Kittredge (1944, *cit. pos.* Hocker, 1984)[13] expone la relación entre el DAP y el peso anhidro del follaje en *Pseudotsuga menziesii* y en *Pinus resinosa* con cinco y veintisiete muestras, respectivamente.

RESULTADOS

Mediante la prueba de análisis de varianza (ANAVA), no se hallaron diferencias significativas en las cargas de combustibles entre las espesuras A y B en ningún estrato, pero si se hallaron diferencias entre estratos, sin tomar en cuenta la espesura (Cuadros N° 5 y N° 6).

[12]López R., C. y M. R. Keyes. 1987. Modelos para estimación de biomasa de *Pinus cembroides* Zucc.
[13]Hocker Jr. H. W. 1984. Introducción a la biología forestal.

GRUPO	P	PL	O	OP	O(S)	OP, OL(S)	L	M
Pino (P)	--							
Pino-Latifol. (PL)	ns							
Oyamel (O)	ns	ns						
Oyamel-Pino (OP)	ns	ns	ns					
Oyamel* [O (S)]	17.06	7.386	ns	ns				
Oyamel-Pino y Oyamel-Latifol.* [OP, OL (S)]	ns	ns	ns	ns	ns			
Latifoliadas (L)	ns	ns	ns	ns	ns	ns		
Matorral xerófilo (M)	6.618	5.017	27.353	5.125	9.136	10.507	ns	–

* Con saneamiento forestal. **ns** = No significativo. **Fc** = F calculada.

Cuadro N° 5. Valores de **Fc** (significativos con $\alpha = 0.05$) para las cargas de estratos.

Sin embargo, la carga de combustibles, aunque muy importante, es uno de varios parámetros para caracterizarlos. Swanson (1984)[14] menciona también: tamaño, forma, compactación, continuidad horizontal y vertical, densidad de la madera, sustancias químicas presentes y humedad del combustible, por lo que aunque dos estratos distintos presenten la misma carga de combustibles, difícilmente será semejante el comportamiento de un incendio que se presentase en ambos lugares (aun abstrayéndonos del tiempo atmosférico y de la topografía). Tomando en cuenta estos elementos, se elaboró el Cuadro No. 7, con grupos de combustibles.

El coeficiente de variación (CV) se calculó dividiendo la desviación estándar entre el promedio.

[14]Swanson, J. 1984. Combustibles y su efecto en el comportamiento del incendio.

Anderson (1982)[15] cita que los modelos de combustibles proveen información para el control de incendios y para determinar un daño potencial a los recursos. A nuestro juicio, no se debe subestimar la información que presentan sobre el movimiento de la materia orgánica en los ecosistemas forestales. En el Cuadro N° 7 se puede notar que conforme se incrementa la carga entre grupos, también aumenta el coeficiente de variación (r lineal = 0.83), debido a que mientras más biomasa tenga un ecosistema, tendrá más probabilidad de ser alterado en diferentes niveles.

Relacionando los promedios obtenidos por grupos con el promedio de precipitación obtenido a partir del rango que Rzedowski y Rzedowski (*op. cit.*) citan para diferentes tipos de vegetación en el Valle de México, se obtiene la gráfica simbólica (Figura N° 2.)

Por lo que toca a la proporción por tipo de combustible, con respecto a la carga obtenida por grupo, se presenta en el Cuadro No. 8.

El renuevo y la reforestación no parecen ser especialmente abundantes en ningún caso.

En el matorral xerófilo alcanza un 6.7% debido a la relativa baja carga de dicho grupo. Los arbustos son muy abundantes en el matorral xerófilo y abundantes en el oyametal puro o mezclado con pino y en el bosque de latifoliadas. En los oyametales con saneamiento ocupan una baja proporción. La hojarasca es más abundante en el pinar puro o asociado con latifoliadas y en el bosque de latifoliadas, también tiende a serlo cuando los pinos o las latifoliadas se mezclan con el oyamel. Los zacates tienden a disminuir su proporción conforme se incrementa la carga a través de los grupos, con una tendencia exponencial. Los materiales leñosos con un tiempo de retardo ≤ 100 hr, tienden a mantenerse constantes en todos los grupos, ocupando del 23.8 al 40.4% (un promedio de 28.2%, exceptuando el zacatonal puro, donde no se les halla).

Anderson (*op. cit.*) cita para un modelo de combustibles con desechos de explotación que los combustibles con menos de 3 pulgadas generalmente ocupan el 10% de la carga total. Tanto los materiales leñosos con un tiempo de retardo de 1,000 hr, como los de ≤ 100 y 1,000 hr, juntos tienden a incrementar su proporción en forma logarítmica conforme aumenta la carga. Estas relaciones se ilustran en la Figura N° 3.

[15] Anderson, H. E. 1982. Aims to determining fuel models for estimating fire behavior.

PINO contra OYAMEL con saneamiento ($F^1_{61,0.05} = 3.999$) :

Fuente de variación	G.L.	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Fc
Tratamiento	01	8 991.056	8 991.056	17.060
Error	61	32 144.861	526.965	
T O TAL	62	41 135.917		

PINO contra MATORRAL ($F^1_{66,0.05} = 3.987$) :

Fuente de variación	G.L.	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Fc
Tratamiento	01	1 363.601	1 363.601	6.618
Error	66	13 599.316	206.050	
T O TAL	67	14 962.917		

PINO-LATIFOLIADAS contra OYAMEL (con saneamiento) ($F^1_{22,0.05} = 4.301$) :

Fuente de variación	G.L.	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Fc
Tratamiento	01	7 627.730	7 627.730	7.386
Error	22	22 719.795	1 032.718	
T O TAL	23	30 347.525		

Cuadro N° 6. Análisis de varianza de cargas de combustibles, entre estratos, que resultaron significativos.

continua Cuadro N° 6...

PINO-LATIFOLIADAS contra MATORRAL ($F^1_{27,0.05} = 4.210$) :

Fuente de variación	G.L.	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Fc
Tratamiento	01	932.533	932.533	5.017
Error	27	5 019.072	185.892	
T O TAL	28	5 591.605		

OYAMEL contra MATORRAL ($F^1_{13,0.05} = 4.667$) :

Fuente de variación	G.L.	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Fc
Tratamiento	01	586.286	586.286	27.353
Error	13	278.641	21.434	
T O TAL	14	864.927		

OYAMEL-PINO contra MATORRAL ($F^1_{26,0.05} = 4.225$) :

Fuente de variación	G.L.	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Fc
Tratamiento	01	2 045.578	2 045.578	5.125
Error	26	10 376.644	399.102	
T O TAL	27	12 422.222		

OYAMEL (con saneamiento) contra MATORRAL ($F^1_{15,0.05} = 4.543$) :

Fuente de variación	G.L.	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Fc
Tratamiento	01	10 847.121	10 847.121	9.136
Error	15	17 810.145	1 187.343	
T O TAL	16	28 657.266		

Continuación del Cuadro N° 6.

CLAVE	GRUPO	X (Ton/Ha)	CV ó CV	Máximo (Ton/Ha)	n
Z	Zacatonal	7.981	42.1	10.357	2
1	Matorral xerófilo	11.397	20.5	14.712	11
2	Latifoliadas	13.335	54.4	18.952	3
3	Pinar o Pino-Latifoliadas	23.321	71.0	76.402	75
4	Oyametal u Oyamel-Pino	27.217	60.8	109.937	21
5	Oyamel-Pino u Oyamel-Latifoliadas con saneamiento.	30.936	63.9	51.111	15
6	Oyamel con saneamiento	64.255	92.7	163.695	6

Cuadro N° 7. Grupos de combustibles superficiales para el Distrito Federal. Las cargas no incluyen arbolado adulto.

GRUPO	Z	1	2	3	4	5	6
RENUEVO Y REFORESTACIÓN	0.0	6.7	1.0	1.9	3.5	0.9	0.5
ARBUSTOS	0.0	23.9	13.0	3.1	15.7	3.0	5.2
ZACATES Y PLANTAS ANUALES	100.0	36.7	35.1	18.9	5.6	6.1	1.4
HOJARASCA	0.0	4.9	27.2	32.3	12.7	12.9	8.0
TR ≤ 100	0.0	26.7	23.8	25.1	40.4	27.2	26.2
TR 1 000	0.0	1.1	0.0	18.7	22.1	49.9	58.7
SUMA	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

Cuadro No. 8. Porcentajes por tipo de combustible, con respecto a la carga (promedios).

Los materiales leñosos en su conjunto, ocupan entre el 23.8% (bosque de latifoliadas) y el 84.9% (oyametal bajo saneamiento) de la carga. Durante la temporada de incendios, los combustibles vivos (renuevo, reforestación y arbustos) ocupan entre el 3.9 y el 30.6% de la carga, en el oyametal mezclado y bajo saneamiento y en el matorral xerófilo, respectivamente. En el oyametal, con mayores cargas que las del pinar, los incendios son menos frecuentes, dada la mayor humedad y escasez de gramíneas que los caracteriza. Dicho bosque cabe dentro de lo que Barney *et al.* (1984)[16] denominan masa reemplazada por un incendio fuerte (cada 50-500 años), donde incluyen a los bosques de *Pseudotsuga menziesii*, y citan a los pinares de *Pinus ponderosa* como masas mantenidas por incendios frecuentes (cada 2-25 años). En el primer caso los incendios arrasan con árboles adultos, sotobosque y materiales acumulados en el suelo, mientras que en el segundo se consumen cantidades relativamente pequeñas de combustibles (incendios superficiales). Cabe recordar la relevancia que tiene el fuego para mantener muchos de los pinares mexicanos. A este respecto, Dieterich (1985)[17] halló un promedio de un incendio cada 3.8 años, para un período de 115 años (1867 a 1982), en bosque de *Pinus engelmannii*, *P. duranguensis* y *P. arizonica*, en la Sierra de los Ajos, Sonora.

La mayor carga en los oyametales, comparados con los pinares, se debe al mayor porte y ramificación de los oyameles, que seguramente aportan más detritos al suelo durante su desarrollo, así como a la mayor abundancia y diversidad de las especies que componen el sotobosque y a la mayor acumulación de combustibles en el suelo, dada la menor frecuencia de incendios, en este tipo de bosque clímax. No obstante en el Distrito Federal prácticamente todos los incendios son ocasionados por el hombre, por lo que la frecuencia de incendios en sus oyametales con toda seguridad es mayor que la de otros oyametales de la República Mexicana. Asimismo, salta a la vista que cualquier factor de disturbio que cause mortandad en los árboles, llámese plagas, enfermedades o cortas (legales o ilegales) incrementará la carga de combustibles en el suelo, por lo que al realizar labores silvícolas de saneamiento o de explotación se debe tener en cuenta el manejo de combustibles. Un buen ejemplo de esto lo cita Vázquez-Soto (1987[18], 1988[19]), para los trabajos de limpia y saneamiento forestales del Desierto de los Leones, donde los combustibles resultantes de los trabajos, y los ya existentes, son apilados formando obras para el control de la erosión a lo largo de curvas de nivel sobre las laderas.

[16] Barney, R. J. *et. al.* 1984. Fire Management.
[17] Dieterich, J. H. 1985. Cronología de los incendios forestales de la Sierra de los Ajos, pp. 20-34.
[18] Vázquez Soto, J. 1987. Los trabajos de limpia y saneamiento forestal en el Desierto de los Leones.
[19] Vázquez Soto, J. 1988. Los tratamientos silvícolas en el Desierto de los Leones.

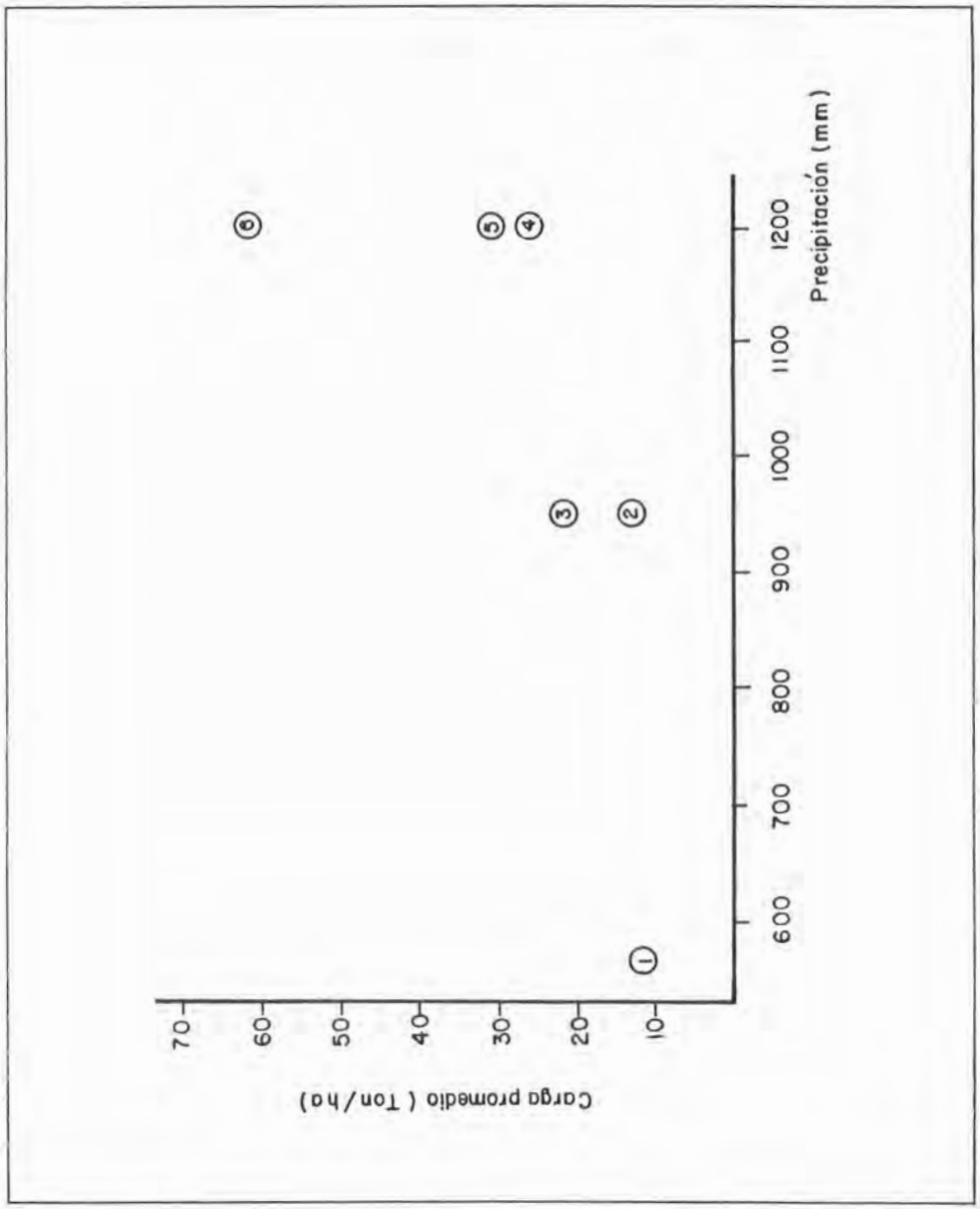


Figura N° 2.. Relación entre la carga de combustibles y la precipitación. Los números corresponden a las claves de los grupos de combustibles.

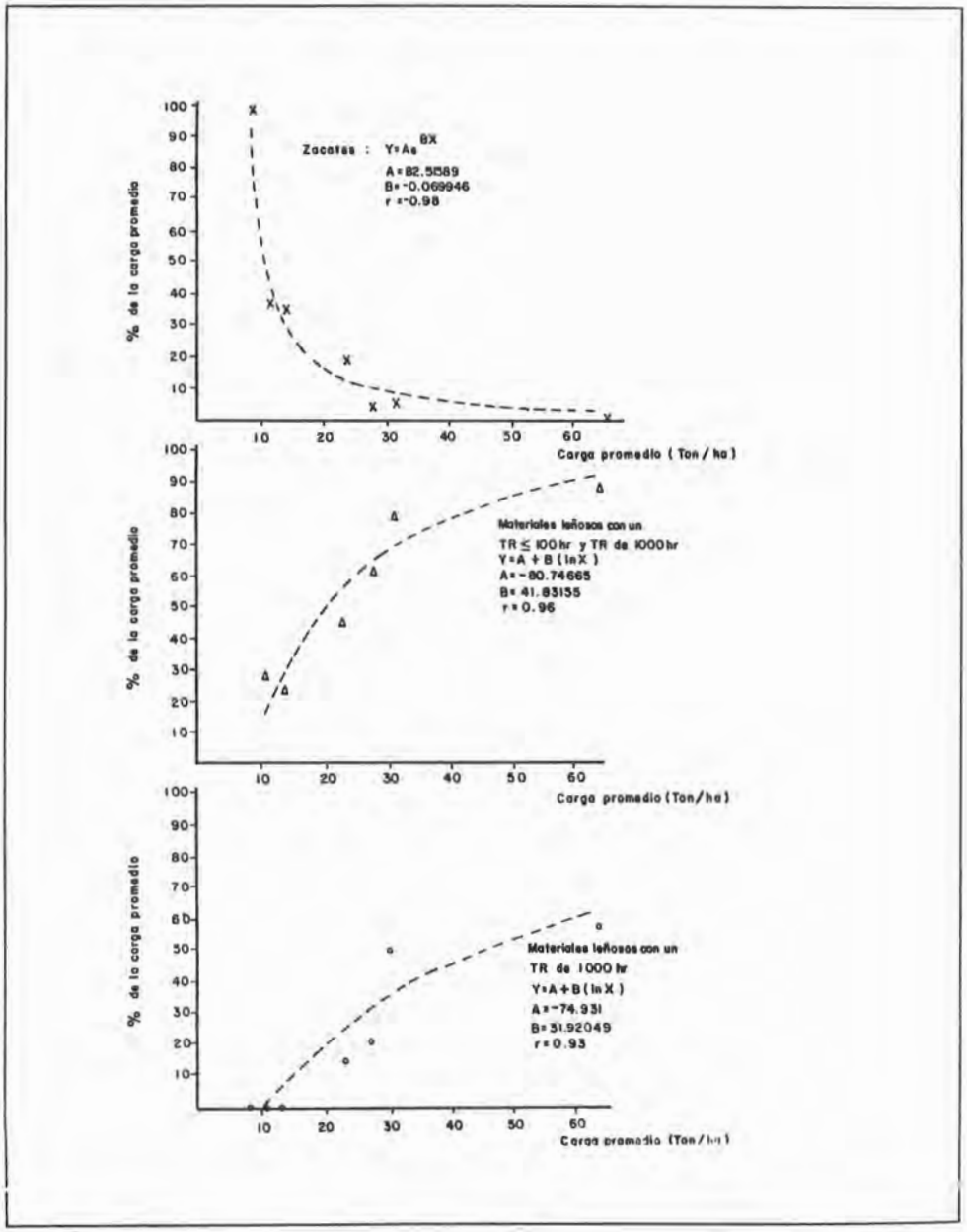


Figura N° 3. Relación entre el porcentaje de la carga que ocupan los combustibles

Respecto a las cargas obtenidas, se encuentran dentro de los intervalos que otros investigadores citan en trabajos similares. Así, Anderson (*op. cit.*) refiere las siguientes cargas (Ton/Ha) para materiales leñosos con menos de 3 pulgadas de diámetro en Norteamérica:

Grupo zacates:	1.8 - 9.9
Grupo arbustos:	8.6 - 32.1
Grupo bosques:	8.6 - 29.1
Grupo desechos de explotación:	28.4 - 143.5*

Swanson (1984) cita hasta 250 Ton/Ha para el último rubro y Fischer (1981)[20] expone, para materiales leñosos diversos valores, a partir de los cuales se calculó el promedio (Cuadro Nº 9).

TIPO DE COBERTURA	X (Ton/Ha)	MÁXIMO (Ton/Ha)
Pinus ponderosa	17.8	36.8
P. ponderosa, *Larix* sp. y *Pseudotsuga menziesii*	27.6	85.2
Larix sp., *Pseudotsuqa menziesii*	69.6	165.6
Pseudotsuga menziesii	37.0	118.5

Cuadro Nº 9. Cargas de combustibles forestales en algunos bosques norteamericanos (adaptado de Fischer. 1981).

* Si se considera a los materiales con un diámetro mayor, algunos casos de desechos de explotación pueden exceder de 400 Ton/Ha.

[20] Fischer, W. C. 1981. Photo guide for appraising downed woody fuels in Montana Forest.

TIPO DE ECOSISTEMA	BIOMASA (Ton/Ha) Rango normal	Promedio	MASA DEL DENTRITUS(Ton/Ha)
Bosque tropical lluvioso	60 - 800	450	2
Bosque templado perennifolio	60 - 2000	350	30
Bosque templado caducifolio	60 - 600	300	20
Bosque boreal (Taiga)	60 - 400	200	40
Chaparrales y montes de de bajo porte	20 - 200	60	6
Pastizales de clima templado	2 - 50	16	4

Cuadro N° 10. Biomasa de varios ecosistemas del planeta (adaptado de Whittaker, 1975).

Los resultados presentados por Fischer corresponden a bosques no explotados, aunque en algunos casos consideró bosques que fueron explotados hace muchos años.

De dos cuadros donde Whittaker (1975)[21] hace referencia a la biomasa y otros elementos a nivel mundial, se extrajo la información contenida en el Cuadro N° 10.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. Se recomienda emplear la técnica aquí citada para la evaluación de combustibles forestales que pueden ser consumidos por incendios superficiales, así como una intensidad de muestreo de 0.01 a 0.05%.

2. Las constantes obtenidas son de utilidad para hacer evaluaciones en ecosistemas similares.

[21] Whittaker, R. 1975. Communities and ecosystems.

TIPO DE ECOSISTEMA	BIOMASA (Ton/Ha) Rango normal	Promedio	MASA DEL DENTRITUS(Ton/Ha)
Bosque tropical lluvioso	60 - 800	450	2
Bosque templado perennifolio	60 - 2000	350	30
Bosque templado caducifolio	60 - 600	300	20
Bosque boreal (Taiga)	60 - 400	200	40
Chaparrales y montes de de bajo porte	20 - 200	60	6
Pastizales de clima templado	2 - 50	16	4

Cuadro N° 10. Biomasa de varios ecosistemas del planeta (adaptado de Whittaker, 1975).

Los resultados presentados por Fischer corresponden a bosques no explotados, aunque en algunos casos consideró bosques que fueron explotados hace muchos años.

De dos cuadros donde Whittaker (1975)[21] hace referencia a la biomasa y otros elementos a nivel mundial, se extrajo la información contenida en el Cuadro N° 10.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. Se recomienda emplear la técnica aquí citada para la evaluación de combustibles forestales que pueden ser consumidos por incendios superficiales, así como una intensidad de muestreo de 0.01 a 0.05%.

2. Las constantes obtenidas son de utilidad para hacer evaluaciones en ecosistemas similares.

[21] Whittaker, R. 1975. Communities and ecosystems.

3. Si se hacen determinaciones en un trabajo de este tipo, no se recomienda obtener muchas muestras de laboratorio en renuevo y reforestación reciente, ya que representan una baja cantidad de la carga, aunque son el bien a proteger contra los incendios.

4. Se recomienda obtener y expresar los resultados como en el Cuadro No. 6, que permite utilizar la información en diferentes formas.

5. Probablemente influyó el disturbio a que están sometidos los bosques del Distrito Federal para que no se hallara diferencia entre las cargas de las espesuras A y B, por estrato. En bosques menos alterados probablemente sí se dé la diferencia.

6. No siempre se hallaron diferencias de la carga entre estratos, sin embargo, la carga no es el único parámetro que debe tomarse en cuenta para la elaboración de modelos de combustibles.

7. Se proponen los grupos de combustibles del Cuadro N°. 7, para el Distrito Federal.

8. Se halló relación entre la carga promedio de los grupos y la precipitación.

9. Los zacates y plantas anuales disminuyen su proporción en la carga promedio conforme se incrementa ésta en los grupos, mientras que los materiales leñosos con un tiempo de retardo $\leq$ 100 hr se mantienen practicamente constantes en su proporción. Los materiales leñosos con un tiempo de retardo de 1,000 hr y todos los materiales leñosos, en conjunto, incrementan su proporción en forma logarítmica, conforme se incrementa la carga promedio en los grupos.

10. El coeficiente de variación o el promedio del coeficiente se incrementa conforme aumenta la carga promedio en los grupos.

11. Cualquier factor que cause mortandad en el arbolado, influirá en el incremento de la carga de combustibles, exceptuando los incendios y erupciones volcánicas.

BIBLIOGRAFÍA

Anderson, H. E. 1982. Aims to determining fuel models for estimating fire behavior. General Technical Report INT-122. USDA, FS. Intermountain Forest and Range Experiment Station. Ogden, Ut., U.S.A. 22 p.

Barney, R. J.; G. R. Fahnestock; W. G. Herbolsheimer; R. K. Miller; C. B. Phillips & J. Pierovich. 1984. Fire management. *In:* Wenger, K. F. (ED.). Forestry Handbook. 2nd. ed. John Wiley and Sons. New York, U.S.A. pp. 189-251.

Cedeño S., O. 1988. ¿Están los bosques de la Serranía del Ajusco en peligro de extinción? Ponencia presentada para obtener el nivel de Académico de Número de la A.N.C.F. México.

COCODER. 1984. Programa rector de uso del suelo y desarrollo agropecuario y forestal. COCODER, D.D.F. México. No publicado. 561 p.

Dieterich, J. H. 1985. Cronología de los incendios forestales de la Sierra de los Ajos, Sonora, Mex. Rev. Dasonomía Mexicana, 5 (3): 20-34

Fischer, W. C. 1981. Photo guide for appraising downed woody fuels in Montana Forests. General Technical Report INT-97. USDA, FS. Intermountain Forest and Range Experiment Station. Ogden, Ut., U.S.A. 130 p.

García de M., E. 1981. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. S. E. México. 155 p.

García de M., E. y Z. Flacón de G. 1980. Atlas de la República Mexicana. Porrúa. México. 219 p.

Hocker Jr. H. W. 1984. Introducción a la biologia forestal. A.G.T. México. 446 p.

López R., C. y M. R. Keyes. 1987. Modelos para estimación de biomasa de *Pinus cembroides* Zucc. *In:* Passini, M. F.; Cibrián T., D. y Eguiluz P.,T. (Comps.). Memoria II Simposio Nacional sobre pinos piñoneros. C.G.F.; D.C.F.; U.A.CH.; CEMCA. Chapingo, Edo. de México. pp. 211-220.

Nebel, B. J. 1987. Environmental science. 2nd. ed. Prentice Hall. Englewood Cliffs, N.J., U.S.A. 617 p.

Romero, H. M.; M. Huerta M.; E. Carrillo. 1985. La Ciudad de México. *In:* D.D.F. Imagen de la gran capital. D.D.F. México. pp. 47-65.

Rzedowski, J. y Rzedowski, G. C. de. 1981. Flora fanerogámica del Valle de México. Vol. 1. CECSA. México. 403 p.

Sánchez C., J. y Zerecero L., G. 1983. Método práctico para calcular la cantidad de combustibles leñosos y hojarasca. Nota Divulgativa Nº 9. CIFONOR. INIF, SARH.

S.G.I.S.F. 1980. *Vademecum* forestal mexicano. SARH, SFF, SAM. México.

Sierra P., A.; R. Garduño G. y O. Yañez. 1979. Propósitos, planeación y desarrollo del proyecto. *In:* Sánchez C., L. *et al.* La reforestación en el D.F. Folleto Nº 55. IMERNAR. México. pp. 23-59.

Swanson, J. 1984. Combustibles y su efecto en el comportamiento del incendio. *In:* Notas del II Curso Internacional Avanzado sobre el Combate de Incendios Forestales. NARTC, AID, USFS. Pinal Air Park, Marana, Az.., U.S.A. 11 p.

Vázquez-Soto, J. 1987. Los trabajos de limpia y saneamiento forestal en el Desierto de los Leones. COCODER., D.D.F. México. 24 p.

Vázquez-Soto, J. 1988. Los tratamientos silvícolas en el Desierto de los Leones. Sus fundamentos. COCODER., D.D.F. México. 34 p.

Whittaker, R. 1975. Communities and ecosystems. 2nd. ed. Mc.Millan. New York, U.S.A. 385 p.

Zobel, B. y J. Talbert. 1988. Técnicas de mejoramiento genético de árboles forestales. Limusa. Mexico. 545 p.

CRÉDITOS Y AGRADECIMIENTOS

En los trabajos de campo, laboratorio y gabinete participaron 39 profesionales y técnicos, y más de 60 elementos de campo de la COCODER. Entre los primeros destacan: Ing. Jesús Vázquez Soto. Ing.Victor O. Bonilla, Biól. Victor Flores R., Biól.

Catalina Olguin C., Ing. Fernando Gómez-Santamaría, Biól. Miguel A. González R., Ing. Rubén Huerta P., Ing. Juventino Chávez S., Biól. Raúl Valladares M. y Lic. Martha P. Ruiz H. Asimismo, proporcionaron apoyo logístico: Ing. Marte R. Salazar T.; Ing. Octavio Escobar L. e Ing. Rubén Rodríguez G. A todos se agradece profundamente su importante participación.

También debe agradecerse a los investigadores del CENID-COMEF que a continuación se mencionan, por facilitar el Laboratorio de Tecnología de la Madera y equipo de dichas instalaciones, así como por la asesoría proporcionada: Ing. Avelino B. Villa Salas, Ing. Jaime Carrillo S., Ing. Víctor Díaz Gómez, Biol. Juana Huerta C. e Ing. Carlos G. Avila S.

EL FLAMENCO ROSADO DE LA PENÍNSULA DE YUCATÁN.*

Villa Salas Jorge Ramón**

RESUMEN

El flamenco rosado (*Phoenicopterus ruber ruber*) tiene una distribución en diferentes localidades de la Península de Yucatán, área que se ha visto disminuida por diversos factores naturales y antropocéntricos que han modificado su hábitat original.

El ciclo biológico de esta ave no es rígido, ya que varía de acuerdo con las condiciones del medio; en general el cortejo y copulación se realiza de marzo a junio, la eclosión de junio a agosto, el polluelo inicia su desarrollo de junio a septiembre y se incorpora a la población adulta de octubre a diciembre de cada año.

Palabras clave: Flamenco rosado, *Phoenicopterus ruber ruber*, anátidas, reserva de fauna, Península de Yucatán.

ABSTRACT

The pink flamingo (*Phoenicopterus ruber ruber*) has a distribution area in several places in the Yucatan Peninsula; such area has been reduced because of the habitat modifications caused by different natural and human made effects.

The biological cycle of this bird is not rigid, that may vary according with enviromental conditions; in general terms courtship and copulation take place from March to June, the birth is from June to August, chickens begin their growth from June

---

* Nota Científica.

** Médico Veterinario Zootecnista. Consultor en Ecología Educativa. Ex-Jefe de la Oficina de Parques, Refugios y Reservas Ecológicas del estado de Yucatán.

to September and they get into the adult population from October to December each year.

Key words: Pink flamingos, *Phoenicopterus ruber ruber*, anatidae, wildlife reserves, Yucatan Peninsula.

El flamenco rosado (*Phoenicopterus ruber ruber*) es un ave acuática de hábitos coloniales, es decir vive en grupos numerosos, dentro de los cuales llevan a cabo todas sus actividades de su ciclo natural, ha sido considerado como uno de los grupos de aves acuáticas de estero o ciénega de origen antiguo (Espino-Barros y Baldassarre, 1989)[1].

En México se le encuentra a lo largo del litoral de la Península de Yucatán, considerada como la colonia más grande del Continente Americano, ya que su población es estimada en 30 mil individuos, de 10 a 12 mil en etapa reproductora "adulta", el resto entre juveniles y seniles (Ogilvie y Ogilvie, 1986)[2].

A lo largo del litoral peninsular de oeste a este se les observa en la Ría de Celestún, Uaymitún, Bocas de Dzilam, San Felipe, Coloradas, El Cuyo, Petén Ku, Punta Meco y Yamalcal del estado de Yucatán, y ocasionalmente en la Bahía de Asunción en el estado de Quintana Roo. Se les observa en zonas protegidas dentro de rías o esteros, en lagunas costeras de aguas poco profundas con alta salinidad y suelo fangoso, rodeado por vegetación de manglar (Howell y Weeb, 1995)[3].

Dentro de la distribución mencionada se ha demostrado que las zonas preferentes para la anidación del flamenco rosado son las localidades del oriente del estado de Yucatán: Yalmacal, Petén Ku y Punta Meco; y en menor proporción Las Coloradas y El Cuyo. Después del huracán Gilberto en 1988, los nortes, las presiones sobre el ambiente y otras alteraciones ocasionadas por la infraestructura carretera, el desarrollo urbanístico, la contaminación y otras actividades que provocan modificaciones en su hábitat, los flamencos se han visto obligados a migrar. Se tienen reportes de anidación en Uaymitun y Ría de Celestun, en las orillas de la ciénega, en pequeños islotes arenosos salientes.

[1] Espino-Barros, R., and G. A. Baldassarre. 1989.Number, migration chronology, and activity patterns of nonbreeding Caribbean Flamingos in Yucatan, Mexico. 592-597 pp.
[2] Ogilvie, M. A. and C. Ogilvie. 1986. Flamingos Alan Sutton Pub.
[3] Howell, N. G. and S. Weeb. 1995. A guide to the birds of Mexico and Northern Central America.

Su ciclo biológico y su calendario reproductivo no son rígidos, ya que varían conforme a las condiciones climáticas, los niveles de agua, el viento y otros factores físico-químicos y biológicos del lugar; sin embargo, se puede decir que el inicio de la temporada de reproducción es a mediados del mes de marzo (primavera) dando comienzo con los primeros despliegues del cortejo, en donde el macho exhibe su plumaje, eriza sus plumas dorsales, agita rápidamente sus alas y dá picotazos al cuello de la hembra, la que responde al llamado haciendo lo mismo, considerando que el macho lo hace de manera más enérgica y más vistosa. Posterior al cortejo se presenta la cubrición o cópula (abril, mayo y junio).

En el gran ritual natural de la conservación de esta especie, se presenta un aspecto importante, que es la construcción del nido (mayo-junio), siendo el material de construcción: arena, limos, arcilla, lodo y otros materiales como plumas y conchas, que acarrean con el pico y apisonan hasta que queda terminado, el cual remozan constantemente durante toda la temporada de incubación hasta la eclosión.

Las características del nido son las siguientes: es un montículo de forma circular-cónica; con un promedio de 40 centímetros de altura, un cuello de 5 a 7 centímetros de profundidad; el ancho en el piso de 38 centímetros y la base del nido de 33 centímetros (Terres, 1991)[4], en donde la hembra pone o deposita un huevo, ocasionalmente 2 y pocas veces 3 (mayo, junio y julio), con un peso medio de 133 gramos de 10 a 13 centímetros de largo, de color blanco; el desarrollo o proceso de incubación requiere un periodo de 28 a 30 días (mayo, junio y julio).

Una vez que sucede la eclosión (salida de polluelo del huevo), los polluelos permanencen en el nido durante 2 ó 3 días, después bajan y aunque con torpeza, empiezan a caminar; aproximadamente de 10 a 15 días después, se reúnen con los demás crios que se aventuran a meterse al agua del estero o ciénega.

Los polluelos cuando brotan, poseen un suave plumón blanco que va cambiando conforme crece y va adquirierdo un tono rosado pálido y grisáceo o parduzco, color característico de los juvelines y seniles, hasta que al año adquieren el color rosado y negro, en la parte internas de las alas, como se conocen en estado adulto.

Otra característica de esta especie, es que los crios nacen con el pico recto por lo que no son capaces de alimentarse y sus padres les proporcionan el alimento transfiriéndoselos de pico a pico (regurgitado alimenticio), en tanto que este no adquiere las características especiales al tipo de especie de los facilformes.

[4] Terres, K. J. 1991. The Audubon Society Encyclopedia of North American Birds.

El desarrollo del polluelo es relativamente rápido y en un mes están tratando de iniciar el vuelo y de 30 a 45 días más están en condiciones de dominar el vuelo (de septiembre a noviembre); asimismo en octubre, noviembre y diciembre es cuando los jóvenes se incorporan a la población adulta. Se han reportado datos sobre la longevidad de esta especie en cautiverio de 15 a 25 años.

La dieta de los flamencos es muy especial por el tipo de pico y en la forma invertida en que lo hace, siendo sus comidas preferidas el plancton (fitoplancton y zooplancton), algas, diatomeas, larvas de moluscos, crustáceos, caracoles, camarones e insectos, así como otras materias orgánicas que obtienen filtrando el agua con su pico que está dotado de multiples cerdas, en las que quedan atrapadas las partículas alimentarias contenidas en el agua, ya que el bombeo lo ejecutan con su gruesa lengua; para obtener fácilmente su alimento, los flamencos pisotean repetidamente el fondo fangoso o lo remueven con su pico constantemente.

Las dietas en cautiverio han sido a partir de jitomate, camarón, zanahoria y otra serie de vegetales molidos a fin de facilitar su alimentación, agregando en ocaciones complejos vitamínicos y medicamentos, a fin de preservar su salud y perpetuar su especie.

La vida silvestre de esta especie no es nada fácil, ya que los lugares que habita están sujetos a condiciones ambientales, como nortes, vientos, huracanes, lluvias, pleamar y bajamar (mareas), debido a que al subir el nivel del agua, las áreas de anidación se inundan y provoca el desbaratamiento o destrucción de los nidos, los que al caer al agua o cambiar bruscamente de temperatura, afectan el proceso de incubación propiciando la muerte embrionaria, bajando considerablemente la población.

Los animales depredadores que afectan a los flamencos son los mapaches (*Procyon lotor*), las garcitas (*Ixobrychus exilis exilis*) y las gaviotas (*Sterna* spp.) que consumen los huevos de flamenco, y otras especies de mamíferos y aves que atacan a los polluelos y crías juveniles.

Otra causa de mortalidad son las enfermedades como el *newscastle*, trastornos nerviosos y digestivos ocasionadas por parásitos internos o externos.

Esta especie padece intoxicasiones al ingerir las municiones que tiran los cazadores u otros productos químicos disueltos en el agua.

Una de las causas más graves de la disminución de esta especie es la perturbación de su habitat que hace el hombre, ya que por verlos volar, provoca vuelos inoportunos que

ocasionan graves problemas, porque al querer levantar el vuelo hacen rodar hacia el agua los huevos y se rompen, o destruyen los nidos, o chocan entre sí, lastimando sus frágiles patas, quedando el herido destinado a morir.

El saqueo de huevos para consumo y la captura de polluelos (que no siempre saben alimentar), para la venta clandestina de especies silvestres vivas, es también un factor muy importante en la disminución de la población del flamenco rosa.

BIBLIOGRAFÍA

Espino-Barros, R. and G. A. Baldassarre. 1989. Number, migration chronology, and activity patterns of nonbreeding Caribbean Flamingos in Yucatan, Mexico. The Condor 91 : 592-597.

Howell, N. G. and S. Weeb. 1995. A guide to the birds of Mexico and Nothern Central America. Oxford University Press, Oxford. 851 p.

Ogilvie, M. A. and C. Ogilvie. 1986. Flamingos Alan Sutton Pub. Gloucester, England.

Terres, K. J. 1991. The Audubon Society Encycolopedia of North American Birds. Wings Books, New York. 1109 p.