

EVALUACIÓN DE LOS COMBUSTIBLES FORESTALES EN LOS BOSQUES DEL DISTRITO FEDERAL

Rodriguez 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), oyamental 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-computerized 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 García y Falcón (1980)⁴, predominan las rocas volcánicas extrusivas, así como los suelos derivados de cenizas volcánicas y de Ando. García (1981)⁵ cita para el norte de la ciudad, en San Juan de Aragón (2,249 msnm).

¹Romero, *et al.* 1985. La Ciudad de México. In: D.D.F. Imagen de la gran capital. pp 47-65.

²COCODER. 1984. Programa rector de uso del suelo y desarrollo agropecuario y forestal.

³Sierra 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.

⁴García de M., E. y Z. Falcón de G. 1980. Atlas de la República Mexicana.

⁵García 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 subhúmedo, 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 (*Cyanocitta stelleri*) y al cuarto el zacatuche (*Romerolagus diazi*), el venado cola blanca (*Odocoileus virginianus*) y el linco (*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.

⁶Rzedowski, J. y Rzedowski, G. C. de. 1981. Flora fanerogámica del Valle de México.

⁷COCODER. 1984. Programa rector de uso del suelo y desarrollo agropecuario y forestal.

⁸S.G.I.S.F. 1980. Vademecum forestal mexicano.

⁹Cedeño 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 ($A \leq 60\%$ 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, cuadrículado 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 m² se midió la altura (o la profundidad) y se estimó la cobertura a zacates, plantas anuales, hojarascas de coníferas y hojarascas de latifoliadas.

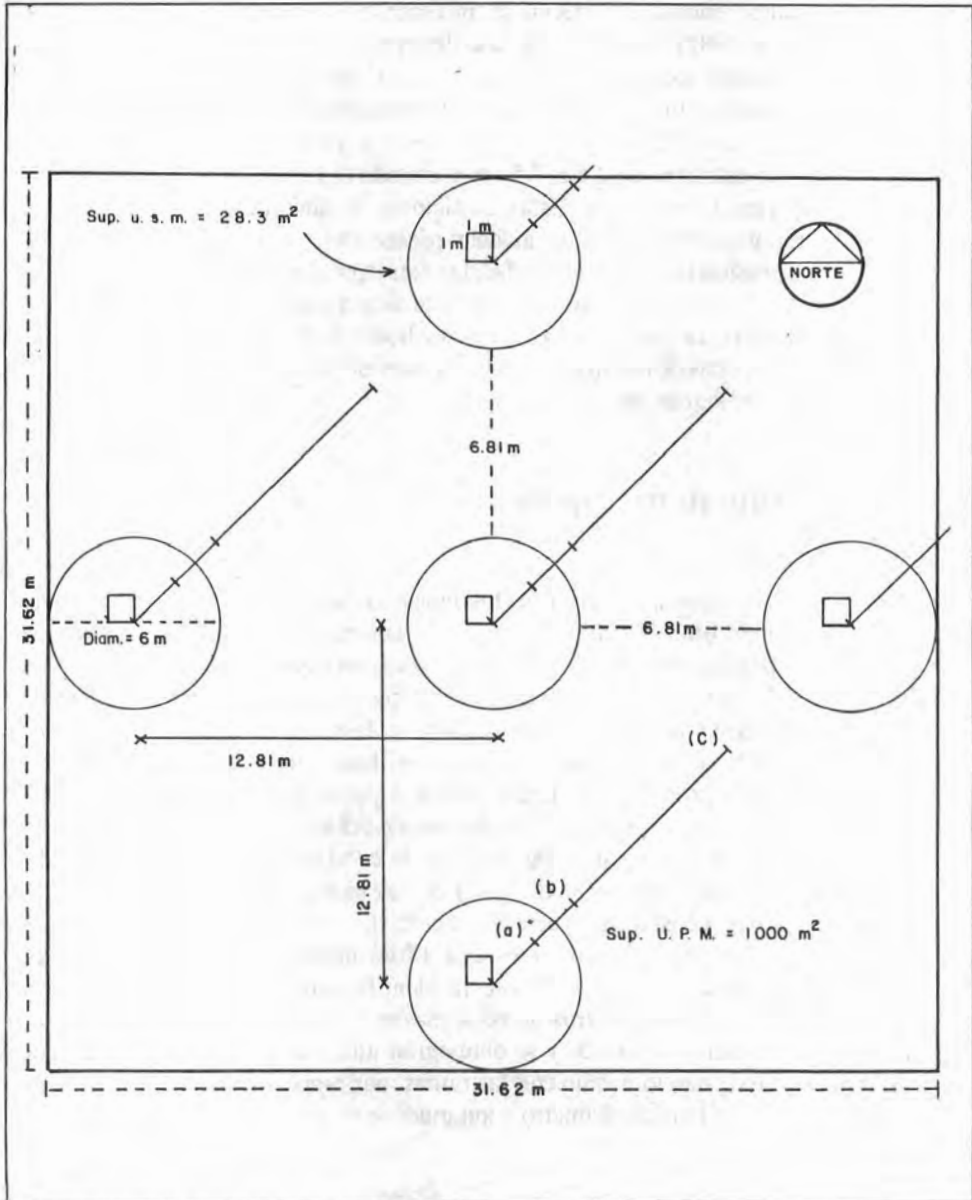


Figura N° 1. Diagrama del arreglo de las unidades de muestreo.

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 m² 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 (m³) de los cinco cuadros de 1 m² 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

¹⁰Sánchez 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 m³ 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 arboreo 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 / m², dividir por 10.

¹¹Nebel, B. J. 1987. *Environmental 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
<i>Acaena elongata</i>	0.390	0.140	2.208
<i>Buddleia</i> sp.	0.106	0.193	0.726
<i>Cestrum trisodium</i>	0.042	0.008	0.026
<i>Penstemon campanulatus</i>	0.093	0.031	0.616
<i>P. gentianoides</i>	0.227	0.078	0.264
<i>Ribes</i> sp.	0.034	0.016	0.020
<i>Senecio angulifolius</i>	0.112	0.047	0.029
<i>S. harba-johannis</i>	0.301	0.067	0.045
<i>S. cinerarioides</i>	0.033	0.024	0.026
<i>S. salignus</i>	0.109	0.099	0.039
<i>Solanum cervantesi</i>	0.035	0.048	-----
<i>Wigandia</i> sp.	0.288	0.000	0.131
MATORRAL XERÓFILO			
ESPECIE	TALLO	RAMAS	FOLLAJE
<i>Mimosa acanthocarpa</i>	0.202	0.242	0.057
<i>Salvia</i> sp.	0.162	0.063	0.046
<i>Aster</i> sp.	0.653	0.144	0.065
<i>Yguiera excesa</i>	0.138	0.119	0.074
<i>Loeselia mexicana</i>	0.049	0.086	0.041

Cuadro N° 2. Constantes para la determinación de peso anhidro (Kg) por m³ de volumen base en arbustos.

RUBRO	PINOS	OVAMEL	CEDRO	LATIFOLIADAS	SUMA
N° de árboles cubcados (tallos y ramas).	9	2	1	7	19
Coefficiente 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 \leq 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 empleó 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 N° 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 N° 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 N° 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)	Nº DE LINEAS	FÓRMULA
< 0.55	2	5	$P_0 = \frac{0.484 (f)(c)}{32.81}$
0.6 a 2.5	2	5	$P_0 = \frac{3.369 (f)(c)}{32.81}$
2.6 a 7.5	4	5	$P_0 = \frac{36.808 (f)(c)}{65.62}$
> 7.5 (no podridos)	12	5	$P_0 = \frac{1.46 (f)(c)}{196.85}$
> 7.5 (podridos)	12	5	$P_0 = \frac{1.21 (f)(c)}{196.85}$

Donde: P_0 = 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).

¹²López R., C. y M. R. Keyes. 1987. Modelos para estimación de biomasa de *Pinus cembroides* Zucc.

¹³Hocker 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. Fe = F calculada

Cuadro N° 5. Valores de Fe (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.

¹⁴Swanson, 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.

¹⁵Anderson, 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 T A L	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 T A L	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 T A L	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 T A L	28	5 991.605		

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 T A L	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 T A L	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 T A L	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	Oyamental 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
RENUOVO 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 periodo 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 climax. 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 (1987¹⁸, 1988¹⁹), 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.

¹⁶Barney, R. J. *et. al.* 1984. Fire Management.

¹⁷Dieterich, J. H. 1985. Cronología de los incendios forestales de la Sierra de los Ajos. pp. 20-34.

¹⁸Vázquez Soto, J. 1987. Los trabajos de limpia y saneamiento forestal en el Desierto de los Leones.

¹⁹Vázquez Soto, J. 1988. Los tratamientos silvícolas en el Desierto de los Leones.

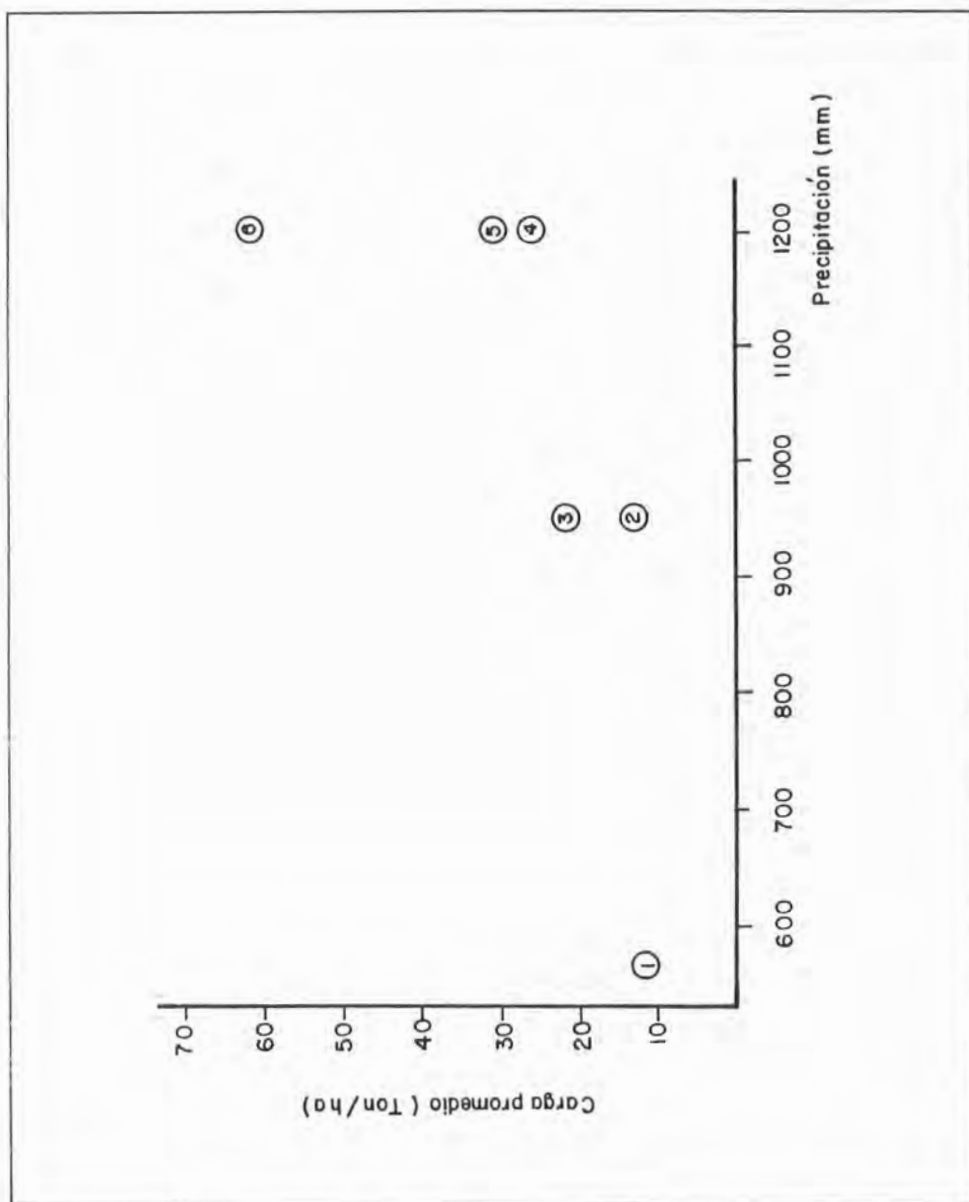


Figura N° 2. Relación entre la carga de combustibles y la precipitación. Los números corresponden a las claves de los grupos de combustibles.

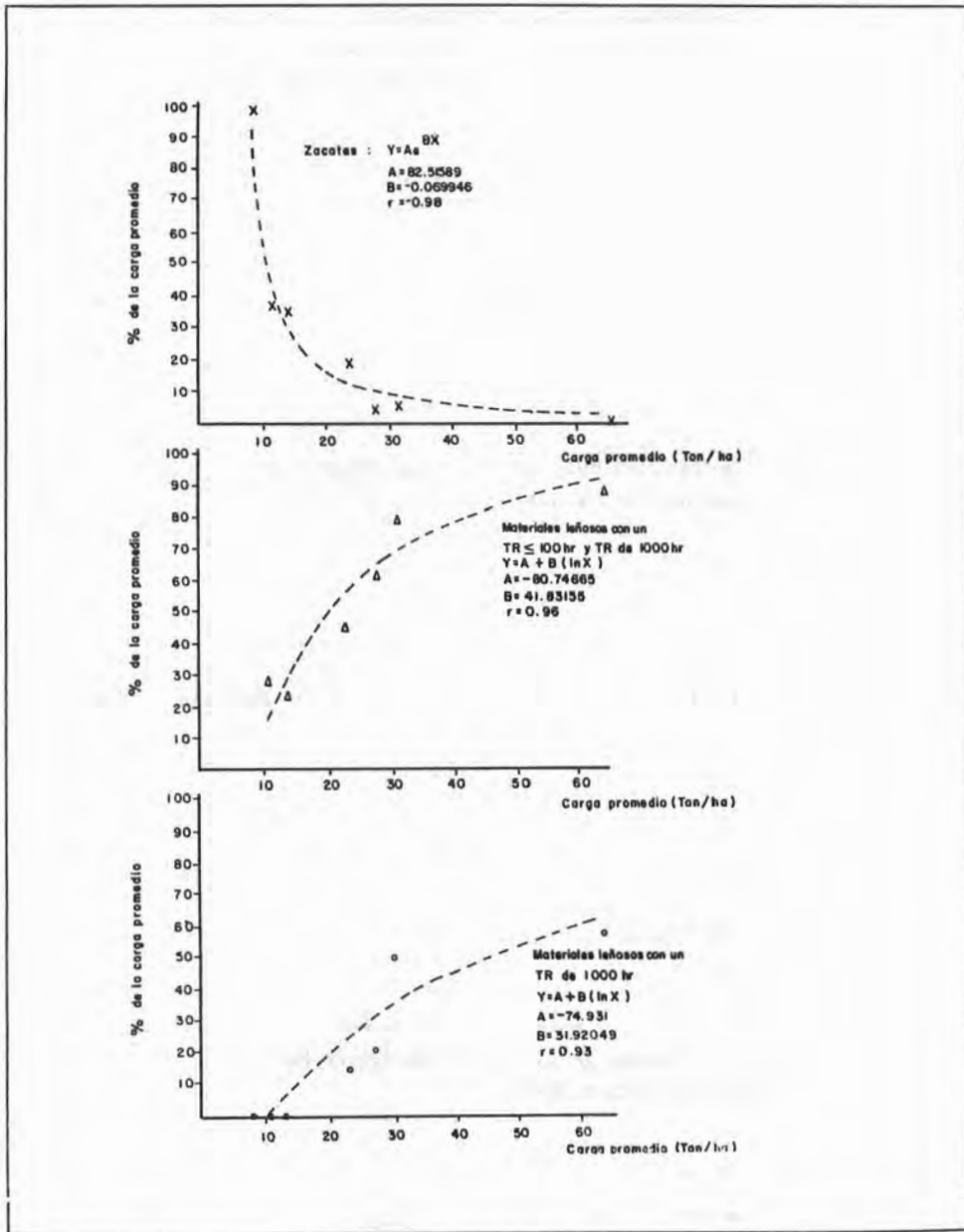


Figura N° 3. Relación entre el porcentaje de la carga que ocupan los combustibles

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 N° 9).

TIPO DE COBERTURA	X (Ton/Ha)	MÁXIMO (Ton/Ha)
<i>Pinus ponderosa</i>	17.8	36.8
<i>P. ponderosa, Larix sp. y Pseudotsuga menziesii</i>	27.6	85.2
<i>Larix sp., Pseudotsuga menziesii</i>	69.6	165.6
<i>Pseudotsuga menziesii</i>	37.0	118.5

Cuadro N° 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.

²⁰Fischer, W. C. 1981. Photo guide for appraising downed woody fuels in Montana Forest.

TIPO DE ECOSISTEMA	BIOMASA (Ton/Ha)		MASA DEL DENTRITUS(Ton/Ha)
	Rango normal	Promedio	
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 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.

²¹Whittaker, R. 1975. Communities and ecosystems.

TIPO DE ECOSISTEMA	BIOMASA (Ton/Ha)		MASA DEL DENTRITUS(Ton/Ha)
	Rango normal	Promedio	
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 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.

²¹Whittaker, 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 si 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^o. 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 ≤ 100 hr se mantienen prácticamente 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 biología 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 N° 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 N° 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. Víctor O. Bonilla, Biól. Víctor 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.