

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES



**DESARROLLO DE MODELOS PARA EL CONTROL DE
COMBUSTIBLES EN EL MANEJO DE ECOSISTEMAS
FORESTALES EN DURANGO, MEXICO**

Por

JUAN BAUTISTA RENTERIA ANIMA

**Como requisito parcial para obtener el Grado de
DOCTOR EN CIENCIAS con Especialidad en
Manejo de Recursos Naturales**

Linares, N. L.

Septiembre 2004

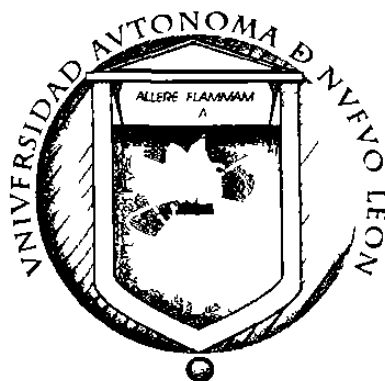
TD
Z5991
FCF
2004
.R46

JUAN BAUTISTA RENTERIA ANIMA



1020150009

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES



**DESARROLLO DE MODELOS PARA EL CONTROL DE
COMBUSTIBLES EN EL MANEJO DE ECOSISTEMAS
FORESTALES EN DURANGO, MÉXICO**

Por

JUAN BAUTISTA RENTERÍA ANIMA

**Como requisito parcial para obtener el Grado de
DOCTOR EN CIENCIAS con Especialidad en
Manejo de Recursos Naturales**

Linares, N. L.

Septiembre 2004

985071

TD

Z5991

FCF

2004

.R46



FONDO
TESIS

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES**

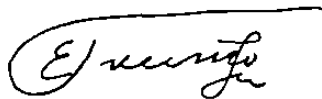
**DESARROLLO DE MODELOS PARA EL CONTROL DE
COMBUSTIBLES EN EL MANEJO DE ECOSISTEMAS
FORESTALES EN DURANGO**

Por

JUAN BAUTISTA RENTERÍA ANIMA

**Como requisito parcial para obtener el Grado de
DOCTOR EN CIENCIAS con Especialidad en
Manejo de Recursos Naturales**

COMITÉ DE TESIS



**Dr. Eduardo Javier Treviño Garza
DIRECTOR**



**Dr. José de Jesús Nívar Chaidez
ASESOR**



**Dr. Oscar Alberto Aguirre Calderón
ASESOR**



**Dr. Israel Cantú Silva
ASESOR**



**Dr. Christoph Kleinn
ASESOR EXTERNO**

AGRADECIMIENTOS

Agradezco infinitamente a la Universidad Autónoma de Nuevo León, al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) y al Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Durango (COCYTED), por el apoyo brindado para la realización de mis estudios de doctorado.

Agradezco muy especialmente al Dr. Eduardo J. Treviño Garza, por la dirección del presente trabajo, por su trato amable y apoyo incondicional, pero sobre todo por la deferencia de su amistad.

A los Doctores José de J. Nívar Cháidez, Oscar A. Aguirre Calderón e Israel Cantú Silva, asesores, amigos y colegas forestales, gracias por sus valiosos comentarios y el tiempo dedicado a mi persona y al mejoramiento del presente trabajo. Agradezco también al Dr. Christoph Kleinn, por su asesoría e interés en participar en este trabajo.

A los Doctores Hugo Ramírez Maldonado y Homero Salinas González y MC. Francisco Meraz Díaz, cuyo respaldo como autoridades de INIFAP en su respectivo nivel fue definitivo para alcanzar esta meta.

A la Fundación Produce Durango, A. C. por el financiamiento en la toma de información de campo a través del proyecto Bosque Modelo Durango y al Fideicomiso de Fondos Mixtos Conacyt-Gobierno del Estado de Durango (DGO-2002-C01-2583).

A las autoridades y personal técnico del ejido Pueblo Nuevo, Dgo., Ingenieros Rufino Meraz, Jesús Fisher, José Luis Coria y Mary Lerma, por las facilidades brindadas, Técnicos Forestales Juan Díaz y Rigoberto Delgado y Auxiliar Técnico Calito Pérez, entre otros, por el apoyo en la toma de información de campo. Así como al C. Felipe Pérez, por el apoyo en campo y gabinete.

Al Dr. René González Murguía, quién diseño y construyó el SIG del ejido Pueblo Nuevo y proporcionó parte de la información aquí utilizada. A los MC. Carlos Muñoz Robles y Daniel Núñez por su invaluable apoyo en el levantamiento parcial de datos de campo y en el procesamiento de información meteorológica.

A los profesores, personal administrativo y auxiliar de la Facultad de Ciencias Forestales y especialmente a la Srita. Sandra Cano por su apoyo y disposición.

A todos mis compañeros de postgrado por su compañía y solidaridad en esta importante etapa de mi vida.

DEDICATORIA

*A Paty mi esposa, por entenderme, apoyarme y por motivarme a la superación,
compartiendo la difícil pero hermosa tarea de formar una familia*

A mis hijos Ana Patricia y Juan Carlos, por ser el motor de mi existencia

A mis padres, a mis hermanos y hermanas y a mis sobrinos, con mucho orgullo

A mis suegros y toda esa familia maravillosa de la que me siento partícipe

A mi Amoles querido y su gente

TABLA DE CONTENIDO

TABLA DE CONTENIDO.....	iv
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vii
ÍNDICE DE CUADROS.....	ix
Capítulo	Página
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Objetivo general.....	4
1.2 Objetivos particulares.....	5
1.3 Hipótesis.....	5
2. ANTECEDENTES.....	6
2.1 Combustibles finos u hojarasca.....	6
2.2 Combustibles leñosos.....	7
2.3 Índice de peligro de incendios forestales (IPI).....	9
2.4 Sistemas de información geográfica (SIG) y modelado espacial.....	16
2.5 Evaluación multicriterio (EMC).....	24
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	26
3.1 Descripción del área de estudio.....	26
3.1.1 Ubicación del área de estudio.....	26
3.1.2 Caracterización del área de estudio.....	27
3.2 Inventario de combustibles forestales.....	30
3.2.1 Determinación de hojarasca.....	30
3.2.1.1 Diseño de muestreo.....	30
3.2.1.2 Obtención de la información.....	31
3.2.1.3 Análisis de la información.....	31
3.2.2 Determinación de combustibles leñosos.....	33
3.3 Determinación del índice de peligro de incendios.....	35
3.3.1 Determinación del índice meteorológico.....	36
3.3.1.1 Información meteorológica.....	36
3.3.1.2 Interpolación de la información meteorológica...	36

Capítulo	Página	
3.3.1.3	Elaboración de los modelos de precipitación y temperatura.....	38
3.3.1.4	Estandarización de la información.....	38
3.3.1.5	Derivación del modelo de exposiciones.....	39
3.3.1.6	Ponderación de variables mediante EMC.....	39
3.3.2	Determinación del índice de combustibles forestales.....	41
3.3.3	Determinación del índice de causales.....	41
3.3.4	Determinación del índice de peligro de incendios forestales (IPI).....	43
3.4	Determinación del plan de manejo de combustibles forestales..	43
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	46
4.1	Cargas de hojarasca	46
4.1.1	Cargas de hojarasca en el ciclo de corta.....	46
4.1.2	Cargas de hojarasca por tratamiento silvícola.....	49
4.1.3	Cargas de hojarasca por categoría de pendiente.....	52
4.1.4	Cargas de hojarasca por calidad de estación.....	53
4.1.5	Cargas de hojarasca por exposición.....	54
4.2	Cargas de combustibles leñosos.....	55
4.2.1	Cargas de combustibles leñosos durante el ciclo de corta.....	55
4.2.2	Cargas de combustibles leñosos por tratamiento silvícola.....	57
4.2.3	Cargas de combustibles leñosos por calidad de estación.....	58
4.2.4	Cargas de combustibles leñosos por pendiente.....	59
4.2.5	Cargas de combustibles leñosos por exposición.....	60
4.3	Carga total de combustibles.....	61
4.3.1	Carga total de combustibles durante el ciclo de corta....	61
4.3.2	Carga total de combustibles por tratamiento silvícola.....	62
4.3.3	Carga total de combustibles por calidad de estación.....	63
4.3.4	Carga total de combustibles por categoría de pendiente	63
4.3.5	Carga total de combustibles por exposición.....	64
4.4	Índice de peligro de incendios	66
4.4.1	Índice meteorológico.....	66
4.4.1.1	Interpolación de variables mediante análisis de regresión.....	66
4.4.1.2	Aplicación de la EMC.....	67
4.4.2	Índice de combustibles.....	70
4.4.3	Índice de causales.....	72
4.4.4	Índice de peligro de incendios (IPI).....	74
4.5	Plan de manejo de combustibles forestales (PMC).....	78
4.5.1	Prácticas de apilado, cuartazal o triturado.....	78

Capítulo	Página
4.5.2 Prácticas de acordonamiento.....	79
4.5.3 Aplicación de quema controlada a material apilado.....	80
4.5.4 Aplicación de quema controlada a hojarasca en pendiente e IPI moderados.....	81
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	84
5.1 Hojarasca.....	84
5.2 Combustibles leñosos.....	84
5.3 Índice de peligro de incendios (IPI).....	85
5.3.1 Índice meteorológico.....	85
5.3.2 Índice de combustibles.....	86
5.3.3 Índice de causales.....	86
5.3.4 Índice de peligro de incendios.....	86
5.4 Plan de Manejo de combustibles.....	87
6. LITERATURA CITADA.....	88
APÉNDICES.....	96
APÉNDICE A. Ecuaciones utilizadas para construir los modelos de precipitación total promedio mensual y temperatura máxima promedio mensual.....	97
APÉNDICE A. Mapas mensuales del índice meteorológico.....	97
APÉNDICE B. Mapas mensuales del índice de peligro de incendios.....	113

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura		Página
1	Localización de la microcuenca Vaquería en el ejido Pueblo Nuevo, municipio de Pueblo Nuevo, Durango.....	27
2	Esquema de la línea de muestreo para hojarasca.....	31
3	Toma de muestras de hojarasca sobre la línea de muestreo para su secado en estufa.....	32
4	Esquema de la línea de muestreo para la estimación de combustibles forestales.....	34
5	Toma de información de combustibles pesados sobre la línea de muestreo en un rodal de pino con pendiente moderada.....	34
6	Diagrama para el desarrollo de modelos de índice de peligro de incendios forestales.....	35
7	Diagrama de flujo para el desarrollo del plan de manejo de combustibles forestales	44
8	Acumulación de hojarasca a través del ciclo de corta de 10 años en el ejido Pueblo Nuevo, Dgo.....	47
9	<i>Profundidad de la hojarasca a través del ciclo de corta de 10 años en el ejido Pueblo Nuevo, Dgo.....</i>	49
10	Cargas de hojarasca por tratamiento silvícola en el ejido Pueblo Nuevo, Dgo.....	50
11	<i>Profundidad de hojarasca promedio por tratamiento silvícola en el ejido Pueblo Nuevo, Dgo.....</i>	51
12	Cargas de hojarasca por categoría de pendiente en la microcuenca Vaquería del ejido Pueblo Nuevo, Dgo.....	52
13	Profundidad de hojarasca por categoría de pendiente en el ejido Pueblo Nuevo, Dgo.....	53
14	<i>Cargas de hojarasca por calidad de estación en el ejido Pueblo Nuevo, Dgo.....</i>	54
15	Cargas de hojarasca promedio por exposición en el ejido Pueblo Nuevo, Dgo.....	55
16	<i>Acumulación de combustibles leñosos durante el ciclo de corta en el ejido Pueblo Nuevo, Dgo.....</i>	56
17	Acumulación de combustibles leñosos por tratamiento silvícola en el ejido Pueblo Nuevo, Dgo.....	58
18	<i>Acumulación de combustibles leñosos por calidad de estación en el ejido Pueblo Nuevo, Dgo.....</i>	59

Figura		Página
19	Acumulación de combustibles leñosos por categoría de pendiente en el ejido Pueblo Nuevo, Dgo.....	60
20	Acumulación de combustibles leñosos por exposición en el ejido Pueblo Nuevo, Dgo.....	61
21	Acumulación total de combustibles a través del ciclo de corta de 10 años en el ejido Pueblo Nuevo, Dgo.....	62
22	Cargas de combustibles totales promedio por tratamiento silvícola en el ejido Pueblo Nuevo, Dgo.....	63
23	Cargas de combustibles totales promedio por calidad de estación en el ejido Pueblo Nuevo, Dgo.....	64
24	Cargas de combustibles promedio total por categoría de pendiente en la microcuenca Vaquería del ejido Pueblo Nuevo, Dgo.....	65
25	Acumulación total de combustibles por exposición en el ejido Pueblo Nuevo, Dgo.....	65
26	Valores máximos mensuales del índice meteorológico para la microcuenca Vaquería del ejido Pueblo Nuevo, Dgo.....	69
27	Modelo del índice meteorológico de la microcuenca Vaquería del ejido Pueblo Nuevo, Dgo., correspondiente al mes de mayo.....	70
28	Modelo del índice de combustibles de la microcuenca Vaquería del ejido Pueblo Nuevo, Dgo.....	72
29	Modelo del índice de causales de incendios forestales en la microcuenca Vaquería del ejido Pueblo Nuevo, Dgo.....	73
30	Valores máximos mensuales del índice de peligro de incendios forestales.....	76
31	Modelo del índice de peligro de incendios forestales (IPI) de la microcuenca Vaquería del ejido Pueblo Nuevo, Dgo., correspondiente al mes de mayo.....	77
32	Áreas seleccionadas para aplicar la práctica de apilado de combustibles forestales para la microcuenca Vaquería del ejido Pueblo Nuevo, Dgo.....	78
33	Áreas seleccionadas para aplicar la práctica de acordonamiento de combustibles forestales para la microcuenca Vaquería del ejido Pueblo Nuevo, Dgo.....	79
34	Áreas seleccionadas para aplicar quemas controladas a material apilado en la microcuenca Vaquería del ejido Pueblo Nuevo, Dgo.....	80
35	Áreas seleccionadas para aplicar quemas controladas durante el mes de enero a hojarasca en la microcuenca Vaquería del ejido Pueblo Nuevo, Dgo.....	82

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro		Página
1	Clasificación de combustibles forestales leñosos de acuerdo con su diámetro y el tiempo de retardo.....	8
2	Matriz de comparación de criterios por pares.....	25
3	Material y equipo utilizado.....	31
4	Estaciones meteorológicas utilizadas en el análisis para determinar el índice meteorológico (CNA Durango).....	36
5	Valores estandarizados por tipo de exposición.....	39
6	Escala de valores de importancia relativa.....	40
7	Matriz de comparación de criterios para determinar el índice meteorológico.....	40
8	Matriz de comparación de criterios para determinar el índice de combustibles.....	41
9	Matriz de comparación de criterios para determinar el índice de causales.....	42
10	Matriz de comparación de criterios para determinar el índice de peligro de incendios forestales.....	43
11	Prácticas de manejo de combustibles y criterios técnicos técnicas para su implementación.....	45
12	Estadísticos del análisis de regresión para las variables precipitación total promedio mensual y temperatura máxima promedio mensual (Periodo 1965-2002).....	66
13	Valores de importancia para determinar el índice meteorológico.....	67
14	Valores máximos mensuales del índice meteorológico.....	68
15	Rango de valores de los mapas de combustibles forestales.....	71
16	Valores ponderados para determinar el índice meteorológico....	71
17	Valores ponderados para determinar el índice de causales.....	73
18	Valores ponderados para determinar el índice de peligro de incendios forestales.....	74
19	Orden jerárquico de los índices para determinar el índice de peligro de incendios forestales.....	75
20	Valores máximos mensuales del índice de peligro de incendios forestales.....	75
21	Plan de manejo de combustibles forestales en la microcuenca Vaquería del ejido Pueblo Nuevo, Dgo.....	83

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

El estado de Durango ha contribuido en los últimos años con aproximadamente el 30% de la producción *nacional maderable*, con una producción anual cercana a 2 millones de m³ rollo, ubicándolo como el principal productor de México. Sin embargo, el alto volumen de desecho acumulado en las áreas de corta, debido al aprovechamiento forestal, representa un gran riesgo para el inicio y propagación de incendios forestales en la época seca del año, considerando que los desechos dejados después de las prácticas silvícolas constituyen un combustible potencial que no estaría presente *en un ecosistema en equilibrio* (Rentería y Coria, 1998), donde la acumulación de éste se presenta de manera natural. Las causas de origen de incendios *en su gran mayoría* tienen que ver con la presencia humana en el bosque. Para el estado de Durango las más importantes son: negligencia en quemas agropecuarias y descuidos de fumadores. En ese sentido, los incendios forestales constituyen uno de los más importantes factores de disturbio antropogénico de los ecosistemas forestales de la Entidad.

En relación con la afectación en los bosques de clima templado y frío, los incendios limitan o destruyen la regeneración natural, afectan al arbolado

comercial reduciendo su valor económico, predisponen al arbolado adulto al ataque de plagas y enfermedades, favorecen el establecimiento de especies no deseables y ocasionan daño al suelo. En el estado de Durango durante la última década se registraron más de 3,500 incendios forestales, que afectaron una superficie de 295 mil ha de arbolado adulto, renuevo y pastizales, con un promedio de 25,000 ha anuales y 71 ha por incendio. Durante 1998 se registraron 436 incendios que afectaron una superficie sin precedente de 68,960 ha, de las cuales 20,422 (30%) correspondieron a renuevo y arbolado adulto (Rentería y Domínguez 1999), aunque ese año la afectación atípica fue a nivel nacional (Treviño *et al.*, 2000). Para la temporada 2002 se reportaron 183 siniestros con una afectación de 13,100 ha (INEGI, 2003), mientras que para 2004 se reportaron 124 siniestros, con una afectación de sólo 3,442 ha, muy por debajo de la media estatal (CONAFOR, 2004).

La vegetación es un importante componente del ecosistema forestal, pues además de proporcionar beneficios económicos para la sociedad como generador de bienes y servicios, es primordial por sus interacciones con los otros componentes; constituye el refugio y la fuente de alimentación de la fauna, amortigua el impacto de la lluvia en el suelo evitando su compactación y arrastre, favorece la infiltración del agua para la recarga de mantos acuíferos y enriquece el contenido de materia orgánica del suelo.

Los ecosistemas forestales dependen del continuo reciclaje de nutrientes para su desarrollo, por lo que normalmente se encuentran en un estado de equilibrio en el que la cantidad de nutrientes consumidos por la vegetación y perdidos por el

escurrimiento profundo y la lixiviación, equivale aproximadamente a la cantidad que se incorpora al suelo por la caída de las hojas, la mortalidad, la precipitación y la mineralización (Daniel *et al.*, 1982). Sin embargo, los incendios, la erosión y los aprovechamientos forestales alteran este equilibrio, aumentando proporcionalmente con los cambios que sufre la cubierta vegetal. Las actividades de aprovechamiento forestal inciden directamente sobre la vegetación, por lo que su impacto es mayor y más intenso que para los otros recursos.

Considerando que el bienestar de la sociedad se sustenta en la producción de bienes y servicios que se obtienen de los recursos naturales, el administrador forestal tiene la responsabilidad de lograr un rendimiento sustentable a través del tiempo, aprovechando la característica de renovación que tienen los bosques, mediante la aplicación de tratamientos silvícolas que garanticen el equilibrio del ecosistema, logrando obtener los máximos beneficios económicos. En México el aprovechamiento forestal está normado por la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable (SEMARNAT, 2003), donde se establecen las medidas preventivas y de mitigación de impactos a fin de evitar el deterioro de los recursos forestales y sus asociados, para lograr la conservación y producción óptima de los mismos. Sin embargo, las acciones en esta materia han sido perfectibles ya que de entrada interviene el factor humano, con todas sus consecuencias.

El manejo de los residuos de la corta, con la práctica comúnmente llamada limpia o quartazal, está orientado hacia la prevención de incendios forestales, ya que constituye el combustible para el potencial inicio o propagación de éstos. Las

medidas preventivas en materia de incendios siempre son insuficientes, ya que de origen el mayor causal es el ser humano, por lo que se requiere además de disminuir las cargas de combustibles, crear conciencia en la sociedad sobre la importancia de conservar los recursos forestales para beneficio actual y de las generaciones futuras.

En el presente trabajo se han desarrollado modelos de peligrosidad de incendios, como una herramienta de apoyo para la toma de decisiones en la elaboración del plan de manejo de combustibles forestales. Para ello se definieron por separado los modelos de los índices: meteorológico, en base a variables climáticas, de combustibles, de acuerdo con el inventario respectivo, y de causales, en función de la cercanía a poblados, caminos y áreas de corta. La información fue ponderada e integrada mediante una evaluación multicriterio en un sistema de información geográfica. Se proponen estrategias de manejo de los residuos de la cosecha forestal, de control de combustibles forestales y campañas permanentes de prevención y control de incendios, para amortiguar los impactos negativos al ecosistema, en donde los productores tienen una participación decisiva.

1.1 Objetivo general

Desarrollar modelos para el manejo de combustibles en los ecosistemas forestales del ejido Pueblo Nuevo, municipio de Pueblo Nuevo, Dgo.

1.2 Objetivos particulares

- Cuantificar la cama de combustibles forestales a fin de determinar índices de combustibles forestales.
- Caracterizar el complejo de combustibles forestales leñosos para *determinar índices de combustibles forestales*.
- Determinar índices de peligro de incendios forestales mediante la integración de los índices de combustibles, de causales y meteorológico.
- Generar estrategias de manejo de combustibles forestales tomando como base los índices de peligro de incendios forestales.

1.3 Hipótesis

Ho₁: la concentración de hojarasca cambia con las condiciones de productividad del bosque.

Ho₂: la acumulación de combustibles leñosos derivada de los desperdicios de la cosecha forestal es constante en tiempo a partir de la fecha de corta.

Ho₃: mediante la interacción de factores del medio ambiente y antropogénicos es posible determinar índices para medir el peligro de ocurrencia de incendios forestales.

Ho₄: considerando los índices de peligro de incendios y las características topográficas y silvícolas es posible definir estrategias de manejo de combustibles forestales.

CAPÍTULO 2

ANTECEDENTES

2.1 Combustibles finos u hojarasca

Los materiales combustibles influyen directamente en el comportamiento del fuego, por lo que constituyen una variable de gran importancia para definir el peligro de incendios forestales. Las características de un combustible luego de que la planta ha muerto son las que hacen posible la ocurrencia de un incendio forestal.

En relación con su clasificación y considerando el lugar que éstos ocupan dentro del sitio, los combustibles pueden ser terrestres, superficiales y aéreos (Vega, 1999; Muñoz, 2001). Los combustibles terrestres están representados por la materia orgánica y las partículas pequeñas que forman el piso forestal como hojas, ramillas y conos; su contenido de humedad juega un papel importante en el grado de peligro e intensidad de incendios, ya que poseen un alto grado de inflamabilidad y generan fuegos difíciles de controlar (McMahon, 1983).

Los combustibles se dividen atendiendo a su estado fisiológico en combustibles forestales vivos o muertos, siendo éstos últimos a diferencia de los

primeros, los que no tienen tejido vivo y yacen en el suelo y cuyo contenido de humedad está determinado por la humedad ambiental, la temperatura del aire y la radiación solar. La vegetación herbácea, arbustiva y arbórea constituye los combustibles forestales vivos y pueden estar ubicados a nivel superficial y/o aéreo, mientras que los combustibles forestales muertos los componen los combustibles terrestres, así como las partículas leñosas secas.

La estimación de la cantidad de combustibles forestales está orientada hacia la determinación de la carga de combustibles, refiriéndola al peso seco en estufa por unidad de superficie (McMahon, 1983; Alvarado, 1986).

2.2 Combustibles leñosos

Los combustibles aéreos se constituyen por el material que se encuentra desde el ápice de la copa hasta una altura de 1.30 m sobre la superficie del terreno, su importancia radica en las sustancias volátiles contenidas en las hojas que favorecen la propagación del fuego, así como en su contenido de humedad (Muñoz, 2001).

Los combustibles superficiales se clasifican en ligeros (diámetros menores a 7.5 cm) y pesados (diámetros mayores a 7.5 cm). Los primeros ocasionan altas velocidades de propagación del fuego debido a que pierden humedad rápidamente, mientras que los pesados requieren de largos periodos de baja

humedad ambiental para estar disponibles, pero una vez encendidos producen mucho calor y arden por tiempos largos, lo que dificulta su control.

De acuerdo con Rodríguez (1994) y Flores y Omi (2003), definen al tiempo de retardo (horas) como una variable aditiva a la clasificación anterior, es decir, el tiempo que un combustible tarda en perder o ganar $2/3$ de la diferencia entre su contenido inicial de humedad y el del ambiente, en base al diámetro de los combustibles como se indica en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Clasificación de combustibles forestales leñosos de acuerdo con su diámetro y el tiempo de retardo.

Clase	Diámetro (cm)	Tiempo de retardo
1	Menor a 0.6	1 hora
2	0.6 a 2.5	10 horas
3	2.6 a 7.5	100 horas
4	Mayor a 7.5	1000 horas

Los estudios para estimar la cantidad de combustibles forestales están orientados hacia la determinación de la carga de combustibles. Para el caso de combustibles vivos se realizan estimaciones de biomasa mediante modelos que relacionan peso y dimensiones del individuo. Para combustibles muertos la evaluación más ampliamente utilizada es la técnica de intersecciones planares *in situ* descrita por Brown (1974) y Brown *et al.* (1982), que estima el volumen con procedimientos rápidos y fáciles de usar en cualquier tipo de bosque.

Flores y Omi (2003) utilizaron el factor de proporción de combustibles para clasificar áreas forestales de Chihuahua dentro del modelo de combustibles, en

clases de comportamiento potencial del fuego, con fines de simulación. El mapa así generado sirvió de apoyo a la clasificación de una imagen TM5, logrando una precisión de casi 75%.

Ya que los incendios forestales son un fenómeno recurrente cuya presencia obedece en gran medida a la presencia humana dentro del bosque, se requiere bajar las cargas de combustible en las áreas de alto riesgo, antes de la temporada seca.

2.3 Índice de peligro de incendio (IPI)

Las causas que originan los incendios pueden ser naturales o antropogénicas. En la prevención de incendios forestales se realizan labores para disminuir tanto el peligro como el riesgo de incendio. El *peligro* se refiere a la existencia tanto de condiciones ambientales como de los combustibles, favorables para el inicio y desarrollo de un incendio. El *riesgo* corresponde a la existencia de factores que pueden iniciar fuego en el bosque. La prevención implica el manejo de combustibles en áreas de peligro y de riesgo, por medio de su limpieza, apilado y/o quema prescrita, así como un sistema apropiado de brechas cortafuego (Rodríguez, 1996). Lo anterior es importante, pues los incendios forestales de causalidad humana no son sucesos aleatorios ya que a menudo se localizan cerca de núcleos habitados y tienden a seguir patrones temporales de diferentes escalas (Vega, 1999).

El peligro de un incendio forestal estará definido por las circunstancias permanentes y transitorias que hacen posible su ocurrencia. Cuando se conocen dichas circunstancias, su magnitud y las funciones que las relacionan, se pueden realizar predicciones para obtener un indicador de peligrosidad de que ocurran incendios forestales en áreas boscosas específicas. Factores permanentes son: la composición de los combustibles, las especies vegetales y la topografía; éstos no varían continuamente, sino que permanecen estables durante períodos más o menos largos, por lo que su influencia es constante. Factores transitorios se refiere principalmente a condiciones meteorológicas como temperatura, humedad relativa, velocidad y dirección del viento y precipitación. Generalmente, el combustible es el factor principal que determina si se inicia o no un incendio, así como la dificultad para controlarlo y la probabilidad de su comportamiento extremo o irregular (Rodríguez, 1996).

El desarrollo de herramientas, tales como los cuadros o mapas de frecuencias de incendios, los índices de ocurrencia de éstos e índices de peligro, responde a la necesidad de predecir la posibilidad de que se presenten incendios forestales, con el propósito de estar preparados para su combate, o prevenirlos de ser posible, así como desempeñar una mejor labor supresiva, que facilite el combate, con reducción de los daños por el fuego y aumente la eficiencia en el uso de los recursos humanos, materiales y financieros (Rodríguez, 1996).

Los índices de peligro se expresan en cifras o escalas la probabilidad de ocurrencia de incendios (Magaña, 1985). En teoría, el índice de peligro infalible sería el que pudiese predecir la causa, el lugar y momento en que un siniestro se

va a iniciar, lo cual es muy difícil por la infinidad de variables y el carácter aleatorio de muchas de éstas que inciden en el peligro y en el riesgo de incendio. Aunque a veces se tiende a usar ambos términos como sinónimos para referir índices de peligro, normalmente se usa el término genérico índice de peligro, que incluye al *factor riesgo* como uno de sus componentes.

De acuerdo con Cheney (1968) citado por Magaña (1985), el peligro de incendio es un término que expresa el resultado de la acción combinada de factores constantes y variables, que afectan las probabilidades de la propagación de un incendio y la dificultad para su control. Es en sí un número que refleja la probabilidad de que un incendio se produzca, así como la facilidad de que se propague, según las condiciones atmosféricas prevalecientes.

A nivel mundial son muchas las experiencias para determinar las áreas con mayor peligro de incendios, destacando el Canadian Wildland Fire Information System, el Forest Fire Danger Index de Australia y el National Fire Danger Rating System de Estados Unidos (Muñoz, 2001). Recientemente se realizó un proyecto a escala nacional en los Estados Unidos, para apoyar a los manejadores de los recursos con información sobre las condiciones actuales de vegetación y combustibles, generada mediante métodos ecológicos para alcanzar metas de manejo de fuego y restauración de ecosistemas. La clave del proyecto fue la integración de datos biofísicos y de sensores remotos con información de disturbio y sucesión en un SIG, para generar siete capas de manejo espacial de combustibles (Schmidt *et al.*, 2002).

Los factores de peligro, tales como elevada temperatura, baja humedad relativa, entre otros, tienen un comportamiento aleatorio, al menos eso se asume en escalas de tiempo cortas. Cuando los meteorólogos logren desarrollar modelos que predigan el tiempo atmosférico con certeza, o con una probabilidad muy elevada de acierto, entonces habrá más herramientas matemáticas para aplicarlas en los índices de peligro. A pesar de que los índices de peligro no necesitan ser infalibles para ser útiles, pues basta con que reflejen los momentos de mayor probabilidad de siniestralidad en una región dada, otra limitante más para desarrollarlos en nuestro medio es la falta de una red completa de estaciones meteorológicas a través del territorio nacional. Sin embargo, se han realizado pocas pero valiosas contribuciones al respecto, sobresaliendo las que a continuación se describen.

Magaña (1983) desarrolló un índice de peligro con base en variables meteorológicas, para el municipio de Tlahuapan, Pue., mientras que Melgar (1986) determinó riesgos de incendio en la Meseta Tarasca, Mich., con base en variables como pendiente, profundidad de la capa de combustibles, número de meses de sequía, duración de incendio, superficie afectada y causa. Flores y Benavides (1990) definieron las condiciones que influyen en el riesgo y peligrosidad de los incendios forestales, de acuerdo con estudios desarrollados en bosques de Jalisco.

Zapata (1991) desarrolló un índice de peligro potencial de incendios, con base a la carga de combustibles forestales muertos, para la Unidad de Administración Forestal Topia en Durango, definiendo el grado de peligro como I

(bajo) para áreas con cargas de hasta 21 ton/ha, II (moderado) (22-35 ton/ha), III (alto) (36-49 ton/ha), IV (muy alto) (50-63 ton/ha) y V (extremo) para las áreas con cargas superiores o iguales a 64 ton/ha. Este autor encontró que a mayor carga de combustibles, más daños se presentaron en el arbolado (masas de *Pinus arizonica* y *P. durangensis*, entre otras especies), que la mortandad de éste por efecto directo del fuego se incrementó notablemente a partir de la clase III, y que la probabilidad de ataque de plagas y enfermedades, aumenta a partir del índice II.

Martínez *et al.* (1990) y Benavides y Flores (1993) obtuvieron tres niveles indicadores de peligro de incendio en 8,068 ha de la Sierra de Manatlán, Jal.: bajo (sobre 3,209 ha), medio (3,100 ha) y alto (1,758 ha). El material combustible fino, la vegetación y la pendiente, fueron los estimadores más importantes en la definición de peligro. Toledo y Salazar (1994) propusieron las categorías de riesgo alto, medio y bajo, con base en ocurrencias, clima y tipo de vegetación para el estado de Michoacán.

Santillán (1993) propuso un índice de peligro fundamentado principalmente en la información dasonómica y del sitio, obtenida de los inventarios del Sistema de Conservación y Desarrollo Silvícola (SICODESI). Tal índice parte de cuatro valores, denominados grados: de combustibilidad (que contempla profundidad de la capa orgánica, cobertura de vegetación baja, cobertura de arbustos y tipo de vegetación); topográfico (que incluye pendiente y exposición); de causalidad (conformado por uso del suelo y densidad de población), y el meteorológico (incluye período del año y número de días sin lluvia). Los tres primeros grados constituyen el grado espacial de peligro, y el último el grado meteorológico de

peligro. Entre ambos se determina el grado de peligro de incendio forestal, mediante el uso de intervalos de valores en cada rubro (profundidad de la capa orgánica, cobertura de la vegetación baja, etc.), generalmente entre 0 a 5 (0 a 10 en variables meteorológicas). Mediante sumas de los valores consignados se obtiene finalmente el grado de peligro. En la escala referida, se considera un grado de peligro bajo a calificaciones con 9-30, medio para 31-45, y alto para 46-60.

Muñoz (2001) desarrolló un índice de peligro para el Ejido Corona del Rosal en el municipio de Galeana, N. L., utilizando una evaluación multicriterio y aprovechando la versatilidad que ofrecen los sistemas de información geográfica (SIG) para seleccionar, analizar e integrar las variables de carácter temporal y espacial (combustibles, clima y presencia humana en el bosque), que inciden en la ocurrencia de incendios.

El índice de peligro de incendio forestal, es función de las características del complejo de combustibles, del riesgo de incendio o posibilidad de que se presente alguna causa de incendio, y de las condiciones meteorológicas. Las características más destacadas de los índices de peligro usados en 10 países son (Magaña, 1985):

- El estado de la vegetación determina la inflamabilidad y la posible propagación del fuego, siendo los factores meteorológicos los que más influyen en tal estado.
-

- No existe acuerdo en la amplitud de escalas utilizadas, pero todos las subdividen en grados o clases de peligro para hacerlas más significativas. Cada grado de peligro va acompañado de una serie de consideraciones acerca de las características que tendrán los incendios, y de las medidas que deben tomar las agencias de control de incendios.
- Los aparatos medidores son los correspondientes a los datos anteriores: pluviómetro, psicrómetro, anemómetro, termómetro, etc. Cabe indicar que en todos los países existe una relación estrecha entre los servicios meteorológicos y el personal forestal.
- La aplicación de los índices principalmente está dirigida hacia el conocimiento y divulgación del peligro, la regulación del uso del fuego en el bosque, la intensificación de las medidas preventivas, la alerta a los medios de extinción y la evaluación de los efectos de las medidas preventivas y de extinción.

Actualmente la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) y el Ministerio de Recursos Naturales de Canadá ofrecen los primeros avances del sistema de información de los incendios forestales con cobertura nacional, donde se presenta la información base y los resultados de una metodología para establecer varios índices que pueden ayudar a detectar los sitios con el más alto riesgo de incendio. Se trata de un sistema para prevenir y combatir los incendios y comprenden dos vertientes para cumplir este objetivo. En una de ellas proporciona rangos relativos del potencial del incendio para un combustible forestal estándar (pino) sobre terreno plano, basado en observaciones

meteorológicas diarias al mediodía y con ello determina un Índice Meteorológico de peligro. La otra por su parte integra los siguientes factores en el sistema: el tipo de combustible, índice meteorológico de peligro, velocidad y dirección del viento, porcentaje de pendiente ladera arriba, elevación y tiempo transcurrido, para con ellos generar una predicción del comportamiento de los incendios forestales (CONAFOR, 2004). Se han generado reportes de puntos de calor desde 1999 en coordinación con el Servicio Meteorológico Nacional, la Universidad de Colima y la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO).

2.4 Sistemas de información geográfica (SIG) y modelado espacial

La integración del conocimiento de grandes escalas espaciales y temporales con el nivel de detalle adecuado, es uno de los mayores desafíos del siglo XXI. Afortunadamente nuevas y poderosas herramientas han emergido en el momento preciso. Un ejemplo de ello son los SIG, que permiten manejar gran cantidad de datos espaciales y los avances en esta tecnología permiten el manejo y uso de información de forma fácil y accesible (González, 2003).

Debido a la gran cantidad de conceptos y aplicaciones, se puede considerar que un SIG es una colección de datos espaciales en continua transformación, un conjunto de procedimientos y procesos analíticos y un material de apoyo en la toma de decisiones, puesto que proporciona elementos útiles para el desarrollo, la planeación y la conservación a través del modelado espacial (Gordillo, 1992). Burrough (1986) define un SIG *“como un poderoso conjunto de herramientas que*

permite recopilar, almacenar y recuperar información a voluntad, transformar y desplegar información espacial del mundo real y enfocarla a resolver problemas específicos". Para DeMers (1997) un SIG es una base de datos referenciados geográficamente y que puede ser accesada o analizada mediante la manipulación de diversas capas de información temática.

En general las preguntas que tienen en común el concepto de espacio, tradicionalmente se han relacionado con mapas. El desarrollo de las computadoras permite ahora relacionar mapas con datos tabulares, lo que a su vez permitió el desarrollo de los SIG. Un SIG es un conjunto de hardware, software y procedimientos que permiten la captura, manejo, edición, análisis, modelado y presentación de datos georreferenciados. Esta tecnología permite además el análisis de un amplio rango de variables biofísicas que tienen injerencia en el uso y manejo del terreno, y que al analizarlas permiten un mejor entendimiento de la manera en que los ecosistemas funcionan e interactúan. Los científicos, los administradores de recursos naturales y los políticos pueden auxiliarse en el uso de esta tecnología para tomar decisiones basadas en información real desde el punto de vista ambientalista (Martínez, 2002).

El gobierno canadiense construyó el primer SIG en la década de 1960 para analizar los datos recogidos por el inventario territorial de Canadá. Posteriormente otros gobiernos y laboratorios de universidades crearon sistemas similares. Sin embargo, los SIG no se utilizaron de forma generalizada hasta finales de la década de 1970, cuando los avances tecnológicos y los más bajos costos hicieron que los ordenadores o las computadoras fueran más accesibles para todos. En la

década de 1980's aumentaron las ventas de SIG, ya que los gobiernos y los empresarios encontraron nuevas aplicaciones para estos sistemas. Un gran número de compañías comenzó a producir nuevos programas de SIG para sistemas de programación de computadoras con el fin de aumentar sus funciones. A comienzos de la década de 1990 estaban funcionando aproximadamente cien mil SIG (Encarta, 2002).

El surgimiento de los sistemas de información geográfica permite automatizar y georreferenciar gran cantidad de datos de diferentes fuentes: mapas, fotografías aéreas, imágenes de satélite e incluso tomas de video, y así obtener nuevos mapas e información clasificada de diferentes aspectos del paisaje. Esta herramienta permite manipular y almacenar un gran volumen de información, facilitando el análisis, clasificación y evaluación de los atributos de la superficie terrestre con mucha mayor precisión y velocidad.

El avance acelerado de la tecnología ha permitido desarrollar sistemas *automatizados de información*. Actualmente grandes cantidades de datos pueden ser introducidos en sistemas de cómputo para su fácil manejo y procesamiento. Se han desarrollado software, como los sistemas CAD o de diseño asistido por computadoras, la percepción remota, el diseño de bases de datos con capacidad para almacenar un gran volumen de información, que junto con la cartografía y la fotogrametría sentaron las bases tecnológicas para lo que hoy conocemos como los sistemas de información geográfica (SEMARNAT, 2002).

La información almacenada dentro de un SIG puede guardarse de diversas maneras. Una categoría incluye información que puede ser referenciada espacialmente y puede ser representada por puntos (p. ej. puntos de muestreo o ubicación de pozos profundos), líneas (p. ej. corrientes o ríos), y polígonos (p. ej. unidades de suelos, clases de uso del suelo, etc.). Esta información es referenciada a un sistema de coordenadas geográficas y es almacenada digitalmente tanto en formato raster (compuesto de píxeles o celdillas) como en formato sectorizado (unión de puntos mediante líneas) (Jensen, 1996).

En un SIG esencialmente existen por tanto dos formatos de representación de datos geográficos: por medio de vectores y de celdas. Un vector es una línea limitada por dos puntos. Un conjunto de vectores arreglados convenientemente puede incluir no sólo líneas y puntos sino también áreas (polígonos). El objeto puede igualmente representarse por medio de un sistema de celdas para cada una de las cuales se conocen sus coordenadas, conocido como formato de celdas o raster, en donde cada uno de los cuadros, también conocido como pixel o picture element, se encuentra referenciado a un sistema de columna-fila. Los SIG actuales incluyen cuatro módulos para el manejo de la información: vectorial, de celdas, procesamiento digital de imágenes de satélite y tabular (SEMARNAT, 2002).

De acuerdo con Martínez (2002), un SIG está constituido por los siguientes componentes: a) subsistema de entrada de datos, que obtiene y pre - procesa datos espaciales de diversas fuentes, b) subsistema de almacenamiento y búsqueda de datos, que se encarga de organizar los datos espaciales de tal

manera que permita su lectura, edición y actualización, c) subsistema de manipulación y análisis, que realiza tareas variadas en los datos, tales como agrupaciones, reclasificaciones, mediciones, estimaciones de parámetros, y ejecuta algoritmos de solución y d) subsistema de reporte, que se encarga de mostrar todo o parte de la base de datos en forma tabular, gráfica o mediante mapas.

La función central y distintiva de un SIG es la posibilidad de relacionar una base de datos cartográfica con su correspondiente tabular, es decir, analizar el espacio a sus atributos de manera conjunta. Esta cualidad precisamente es lo que distingue al SIG de un sistema de cartografía automatizada. La intersección de dos o más series de polígonos al ser sobrepuestas es apenas un caso especial de de las muchas operaciones que pueden aplicarse en el análisis de datos espaciales (Burrough, 1986). De manera general, la manipulación de la información dentro del SIG está orientada a responder una pregunta del usuario, donde la respuesta puede implicar el realizar análisis desde simples hasta complejos. Una alternativa en el manejo de la información es la aplicación de operadores basados en la lógica booleana (and, or, xor y not) para definir condiciones de cierto y falso (presencia y ausencia), representados con valores de 1 y 0, respectivamente (Malczewski, 1999).

Aún cuando los SIG son una herramienta poderosa para cierto tipo de aplicaciones, *no es la solución universal para todos los problemas relacionados con datos espaciales*, por lo que se debe ser prudente acerca de sus capacidades reales. Algunas de las ventajas de los SIG son: a) los datos son almacenados en

forma compacta, de tal manera que pueden ser recuperados inmediatamente, b) el análisis espacial es realizado por algoritmos computarizados que no pueden realizarse en mapas analógicos (impresos), c) los datos espaciales y de atributos se encuentran integrados en un mismo sistema, d) mayor efectividad en realizar tareas complejas que involucran el análisis espacial avanzado y e) la obtención de datos y el análisis espacial, así como la toma de decisiones están integrados en un mismo sistema.

Un modelo es una representación simplificada de un sistema de la vida real, de una situación o de una realidad. Un modelo captura características selectas de un sistema, proceso o realidad y luego las combina en una representación abstracta del original, entonces un modelo es una abstracción de la realidad. Los modelos pueden ser objeto de diversa clasificación. Tres formas de modelo son: icónico, analógico y matemático en SIG. Los icónicos son representaciones a escala (réplicas físicas) de objetos reales. Los analógicos o esquemáticos son modelos físicos en cuanto a la forma pero no son semejantes físicamente al objeto que está siendo modelado (mapas impresos diversos). Los modelos matemáticos (llamados también simbólicos) representan sistemas o fenómenos del mundo real; cuantifican sus variables y las combinan en expresiones y fórmulas matemáticas (Hillier y Lieberman, 2002). Son idealizaciones de problemas de la vida real basados en supuestos claves, estimados y/o estimaciones estadísticas. Los modelos matemáticos son la base del análisis cuantitativo, contienen variables y parámetros.

Las principales razones para usar modelos, en lugar de trabajar directamente sobre la realidad, son las siguientes: a) ahorro de dinero, tiempo u otro bien de valor; b) evitar riesgos de daños al sistema cuando se está solucionando el problema; c) para entender mejor el ambiente real cuando éste es muy complicado.

El dato es la unidad mínima de información y ésta se entiende como un conjunto de datos interrelacionados. Dato geográfico es la unidad geográfica necesaria para representar la realidad a una escala y proyección determinada. Es decir, es la representación de un fenómeno en un espacio y tiempo determinados. El modelo de datos es el conjunto de reglas para convertir datos geográficos reales en objetos discretos, ya sean celdas, puntos o segmentos de líneas, entonces diferentes modelos funcionan para diferentes datos o aplicaciones (Islas, 1998). Desde sus inicios, las bases de datos SIG han intentado representar un modelo abstracto de la realidad. Entre más cercana sea esta abstracción, la representación modela las características verdaderas de los sistemas geográficos del mundo real, entonces las aplicaciones SIG serán más poderosas (Malczewski, 1999).

Son muchas y variadas las aplicaciones del modelado espacial y SIG en la gestión de recursos naturales a nivel mundial, para ejemplificar se mencionan sólo algunas. Farrow y Winograd (2001) incorporaron un modelo espacial de uso del suelo a un paquete de indicadores de sustentabilidad de escala regional, para apoyar de manera consistente a los tomadores de decisiones sobre aspectos de manejo en América Central. Pedersen y Skov (2001) utilizaron modelaje

bioclimático y comparación apareada para mapear la palma nativa de Ecuador, en base a los criterios valor de cosecha, sustentabilidad, cobertura vegetal y densidad de población. Sykes *et al* (2001) derivaron parámetros climáticos para predecir la distribución potencial de *Pinus contorta* en Escandinavia, así como la dinámica forestal de los próximos 100 años de cambio climático.

Los avances en SIG y sensores remotos digitales han mejorado la capacidad para obtener estimaciones de algunos parámetros forestales distribuidas espacialmente, lo cual permite integrar modelos ecológicos o de procesos en aplicaciones de manejo de los recursos, tales como mapeo de biomasa forestal, índice de sitio y productividad (Fournier *et al*, 2000). Mediante el uso de técnicas estadísticas para desarrollar modelos estáticos (independientes del tiempo) y dinámicos (dependientes del tiempo) de distribución geográfica de especies o comunidades de fauna, con aplicación en la predicción de hábitats, se han incorporado rápidamente estas herramientas en ecología (Guisan y Zimmermann, 2000). De acuerdo con Peng (2000) la predicción de efectos potenciales de cambio climático y disturbio humano en la distribución de la vegetación natural, requiere del uso de modelos biogeográficos estáticos o dinámicos de gran escala.

La presentación geoespacial del estatus del hábitat ha sido la clave para la planeación de la conservación de los ecosistemas en la India, donde se ha utilizado tecnología de SIG y sensores remotos para modelar espacialmente los regímenes de disturbio, integrando datos terrestres no espaciales con los caracteres espaciales del paisaje. Los tipos de vegetación y uso del suelo fueron mapeados mediante datos de series de tiempo del sistema de Sensores Remotos

Indú (IRS) y cuya información fue finalmente presentada en tiempo y espacio (Roy *et al*, 2000).

Actualmente, debido a la magnitud e importancia de los recursos forestales para la conservación de los ecosistemas, se ha hecho indispensable el uso de nuevas tecnologías de análisis geográfico, como herramienta de apoyo en la planeación, ejecución e integración de inventarios, análisis ecológico, silvícola y socioeconómico y en la formulación de programas de manejo forestal (González, 2003). El empleo de esta metodología constituye un gran adelanto en la atención de incendios forestales, ya que ofrece diversas opciones desde la prevención hasta el control y combate, con la ventaja de brindar los resultados por computadora en forma rápida y precisa. Esto permite optimizar los recursos financieros y humanos en un corto plazo, con la consecuente reducción de costos.

2.5 Evaluación multicriterio (EMC)

El análisis o evaluación multicriterio (EMC) es una herramienta desarrollada para la toma de decisiones de problemas complejos donde se consideran aspectos tanto cuantitativos como cualitativos. Considerando que en la generación de modelos para definir los diferentes índices (meteorológico, en base a variables climatológicas, de combustibles, en base a cargas por unidad de superficie, y de causas, en función de la presencia humana en el bosque), existen criterios a evaluar que poseen diferentes grados de influencia o peso. Por ello se utiliza la (EMC), de acuerdo con las propuestas de Malczewski (1999) y Mendoza *et al*.

(1999) para ponderar la importancia relativa de cada criterio, mediante la técnica de comparación apareada o por pares. Esta consiste en la comparación uno a uno de los criterios participantes y que tiene la ventaja de ser un análisis fino y cuya consistencia se puede cuantificar. Se construye una matriz de comparación de criterios apareada, como se muestra en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Matriz de comparación de criterios por pares

	Criterio 1	Criterio 2	...	Criterio n
Criterio 1	X_{11}	X_{12}	...	X_{1n}
Criterio 2	X_{21}	X_{22}	...	X_{2n}
⋮	⋮	⋮	...	⋮
Criterio m	X_{m1}	X_{m2}	...	X_{mn}

El primer paso es la asignación de los valores de importancia relativa, comparando cada criterio con los restantes, de acuerdo con la escala de importancia relativa, con valores de 1/9, valor extremo de menor importancia relativa, hasta 9, valor extremo de mayor importancia relativa. El valor 1 indica igualdad de importancia de los criterios en comparación. El procedimiento de cálculo se detalla en el capítulo de Materiales y Métodos.

CAPÍTULO 3

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Descripción del área de estudio

3.1.1 Ubicación del área de estudio

El ejido Pueblo Nuevo está ubicado en el municipio del mismo nombre al sureste del estado de Durango y cuenta con una superficie de 243,349 ha, de las cuales 85 mil ha se encuentran en producción forestal. Dicho ejido tiene una población de 11,211 habitantes, de los cuales 1,500 son ejidatarios. Sus coordenadas extremas son: 23° 06'59" y 23° 38'55" N y 105°12'26" y 105°45'10" W. Limita al norte con el ejido El Brillante, administrado por la Unidad de Conservación y Desarrollo Forestal No 6, al sur con la comunidad indígena de San Francisco de Lajas, al este con la comunidad indígena de San Bernardino de Milpillas Chico y al oeste con el estado de Sinaloa (Meraz, 1998).

En el citado ejido se seleccionó la microcuenca "Vaquería", perteneciente al Río Acaponeta en la Región Hidrológica 11, con una superficie de 3,109 ha para el

desarrollo del estudio, (Figura 1), la mayor parte de la cual está arbolada y en producción comercial maderable.

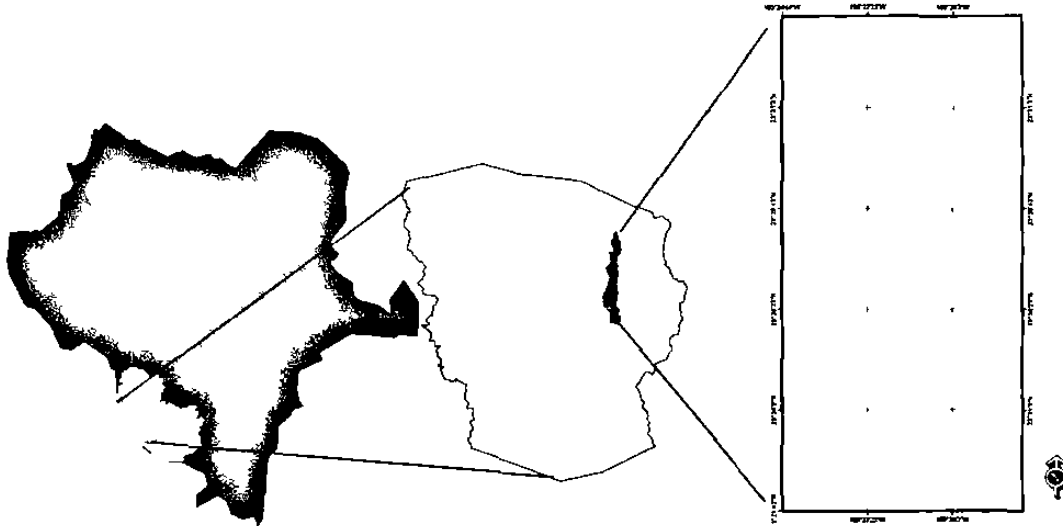


Figura 1. Localización de la microcuenca Vaquería en el ejido Pueblo Nuevo, municipio de Pueblo Nuevo, Durango.

3.1.2 Caracterización del área de estudio

De acuerdo con Meraz (1998), el área de estudio se encuentra enclavada en las estribaciones de la Sierra Madre Occidental, en la subprovincia denominada Gran Meseta y Cañones Duranguenses. Cuenta con una *topografía accidentada* en un sistema de topografía de mesetas asociada con cañadas y altitud desde 500 a 2,800 m. Los suelos tienen su origen en el intemperismo de rocas ígneas y siendo sus principales usos el agrícola, el pecuario y el forestal.

Los climas presentes de acuerdo con el sistema de clasificación climática de Köppen modificado por García (1973) son los siguientes: C(E)(W₂) semifrío

subhúmedo con lluvias en verano y C(W₂) templado subhúmedo con lluvias en verano en la parte alta y (A)C(W₁) y (a)C(w₂) semicálidos en la región de las cañadas. Se tiene una precipitación promedio de 1200 mm anuales con régimen de lluvias en los meses de junio a septiembre y temperatura media anual de 11.1 °C (Región El Salto), de acuerdo con INEGI (2003).

Las condiciones climáticas y edáficas originan una gran variedad de tipos de vegetación, presentándose bosques mezclados de pino y encino, y en menor proporción otras hojosas y coníferas. Los géneros y especies forestales presentes en orden de importancia son: *Pinus cooperi* Blanco, *P. duranguensis* Martínez, *P. leiophylla* Schl & Deepe., *P. teocote* Schl. & Cham, *P. engelmannii* Carr., *P. ayacahuite* Ehreimb., *P. lumholtzii* Rob. & Fern., *Quercus sideroxylla*, *Q. durifolia*, *Quercus sp.*, *Juniperus sp.*, *Pseudotsuga sp.*, *Alnus sp.*, *Arbutus sp.* y *Arctostaphylos sp.*

La producción maderable se basa en el aprovechamiento de especies de pino, principalmente *Pinus cooperi* y *P. duranguensis*, así como especies de encino, aunque en menor proporción. Las otras coníferas y latifoliadas, de menor escala de aprovechamiento, juegan un papel ecológico importante. Los primeros aprovechamientos forestales del ejido se remontan al año 1928.

El manejo de las áreas forestales se sustenta en el potencial productivo del sitio, que involucra las condiciones ambientales, ya sean bióticas, edáficas y climáticas, y es expresado a través del índice de sitio (IS). A su vez este se refleja en los incrementos en volumen periódicos del bosque, como el incremento

corriente anual (ICA), mismo que indica la cantidad de volumen anual disponible para su cosecha, sin detrimento del recurso a lo largo del tiempo en que el arbolado alcanza su madurez o turno técnico.

El plan de manejo del ejido establece un turno técnico de 60 años, con rotación de las áreas en ciclos de corta de 10 años, con extracción anual autorizada cercana a 200 mil m³, entre pino y encino, que representa más de la mitad del volumen autorizado para todo el municipio de Pueblo Nuevo y cuyo valor aproximado para la anualidad 2001/2002 alcanzó los 125 millones de pesos (INEGI, 2003). El ejido Pueblo Nuevo cuenta con la certificación del buen manejo forestal de sus áreas forestales, otorgada por un organismo internacional (Smartwood, 2000), y desde el punto de vista ambiental considera los principios de conservación de la biodiversidad y de sus recursos asociados (agua, suelo, fauna, etc.).

En la microcuenca de estudio se tiene un IS promedio de 18.5 m, llegando a alcanzar 21.5 m en las mejores condiciones de productividad, con ICA de casi 6 m³ ha⁻¹ año⁻¹. Las existencias de madera promedio por anualidad son de 1765 m³ rollo total árbol, con aplicación de 30% de intensidad de corta se tienen 520 m³ de posibilidad de extracción anual.

3.2 Inventario de combustibles forestales

3.2.1 Determinación de hojarasca

3.2.1.1 Diseño de muestreo

Para la realización del estudio se utilizó un muestreo estratificado al azar. Se seleccionaron áreas forestales con características homogéneas (rodales) que están incluidas en el ciclo de corta de 10 anualidades establecido en el plan de manejo forestal del ejido. Dentro de cada estrato fueron establecidas de manera aleatoria las líneas de muestreo, aplicando la metodología de Brown *et al* (1982), adecuada por Sánchez y Zerecero (1983) a los bosques de la Sierra Madre Occidental y aplicada por Muñoz y Treviño (2000) en Nuevo León, con estratificación de la vegetación a nivel rodal. Para determinar el tamaño de muestra se realizó un pre - muestreo, considerando la información de 100 líneas.

Para la estimación de hojarasca acumulada por metro cuadrado, se establecieron cuatro cuadrantes de 0.25 m² de manera uniforme a lo largo de cada línea de muestreo a 5, 10, 15 y 20 m (Figura 2). El material de cada cuadrante fue pesado en campo y se tomaron muestras de 100 g de la mezcla del contenido de los cuatro cuadrantes de la línea para su secado posterior en estufa, con la finalidad de estimar el peso seco por unidad de superficie reportado como peso total en toneladas por hectárea (Figura 3). Se cuantificó también la variable profundidad de la hojarasca en cada cuadrante. Las líneas de muestreo fueron ubicadas mediante un receptor del sistema de posicionamiento global (GPS).

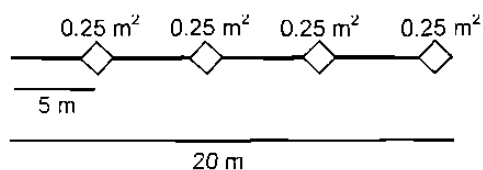


Figura 2. Esquema de la línea de muestreo para hojarasca.

3.2.1.2 Obtención de la información

El levantamiento de la información se realizó por dos brigadas de tres personas formadas por personal de la dirección técnica del ejido. Para ello se utilizó el equipo y material que se muestra en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Material y equipo utilizado.

Equipo y materiales
Clinómetro
Brújula
Báscula
Geoposicionador (GPS)
Estereoscopio de bolsillo
Vernier
Cuerdas
Cuadros de metal de 0.5 x 0.5 m
Estacas de metal
Fotos aéreas
Mapas forestales

3.2.1.2 Análisis de la información

Para el análisis de la información, ésta fue organizada de acuerdo con los criterios empleados por la dirección técnica forestal con fines de manejo, siendo estos los siguientes: ciclo de corta, tratamientos silvícolas, pendiente, calidad de

estación como indicador de productividad o IS, y exposición, como se menciona a continuación.



Figura 3. Toma de muestras de hojarasca sobre la línea de muestreo para su secado en estufa.

Para el ciclo de corta de 10 años, se numeraron progresivamente considerando los años transcurridos desde la cosecha, asignando el número 0 al aprovechamiento del año 2002 (año en que se inició el estudio y que corresponde a la anualidad seis en el ciclo de aprovechamiento contemplado en el plan de manejo), año 1 al aprovechamiento de 2001, y así sucesivamente.

Los tratamientos silvícolas que aplica el ejido son: el tratamiento de Selección considerado en el Método Mexicano de Ordenación de Montes (MMOM), así como el tratamiento de Árboles Padres con aclareos y cortas de regeneración, como indica el Método de Desarrollo Silvícola (MDS). El tratamiento

de cortas de liberación, que también aplica el ejido tiene poca presencia en el área, por lo que no se consideró en el estudio.

La pendiente se dividió en cinco categorías, la categoría 1 para pendiente $\leq 10\%$, categoría 2 para pendiente de 11-20%, categoría 3 para pendiente de 21-30%, categoría 4 para pendiente de 31-40% y categoría 5 para pendiente $>40\%$, de éstas las dos últimas corresponden a la ubicación del tratamiento de selección.

La calidad de estación se consideró en cinco niveles, siendo I la mejor y V la más pobre. En el caso de la exposición se consideraron ocho orientaciones presentes en la zona estudiada: zenital, norte, este, sureste, sur, suroeste, oeste y noroeste.

3.2.2 Determinación de combustibles leñosos

Para los fines del presente trabajo, los combustibles de hasta 7.5 cm de diámetro de las clases 1 a 3 se agrupan y se clasifican como ligeros, mientras que los de diámetros mayores de 7.5 cm, o clase 4, son pesados. Se utilizó la misma línea de muestreo para el levantamiento de la información descrito en la estimación de combustibles finos, pero para estimar el peso total de los combustibles leñosos se dividió la línea de muestreo en tres secciones, la primera de 1 m (para medir la frecuencia de los combustibles de clase menor de 2.5 cm de diámetro), otra de 4 m (para medir la frecuencia de los combustibles de clase de

2.6-7.5 cm de diámetro) y la última de 20 m, línea completa (para medir los combustibles de diámetro mayor a 7.5 cm), como se indica en las Figuras 4 y 5.

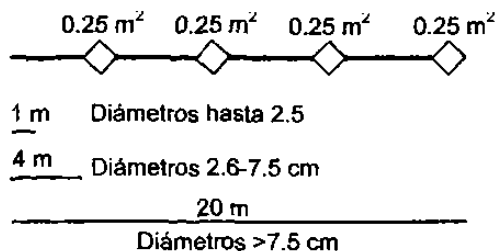


Figura 4. Esquema de la línea de muestreo para la estimación de combustibles forestales.



Figura 5. Toma de información de combustibles pesados sobre la línea de muestreo en un rodal de pino con pendiente moderada.

El levantamiento de la información fue realizado por las brigadas que colectaron los datos de hojarasca y se aplicaron los mismos criterios para el análisis de la información visto anteriormente.

3.3 Determinación del índice de peligro de incendios

Para determinar el índice de peligro de incendios se utilizó un análisis espacial dentro de un SIG. El procedimiento consistió en desarrollar por separado los submodelos siguientes: índice meteorológico, índice de combustibles e índice de causales, de acuerdo con las metodologías particulares que se detallan a continuación y cuyo diagrama tomado de Muñoz (2001) se presenta en la Figura 6.

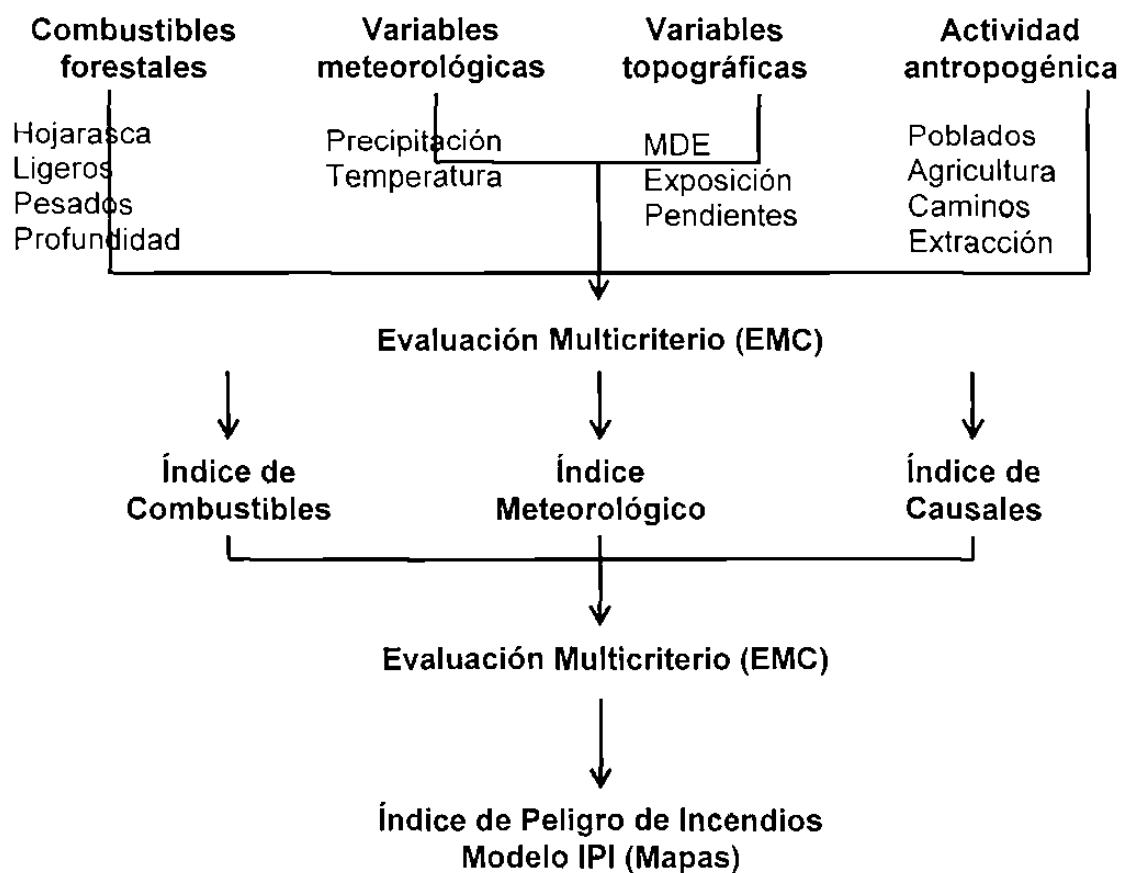


Figura 6. Diagrama para el desarrollo de modelos de índice de peligro de incendios forestales.

3.3.1 Determinación del índice meteorológico

Debido a la gran influencia que el factor clima tiene en la ocurrencia de incendios forestales, se eligieron las variables: promedio mensual de la precipitación total y promedio mensual de la temperatura máxima para elaborar el índice meteorológico.

3.3.1.1 Información meteorológica

Para modelar espacialmente el modelo meteorológico, se utilizó la información proveniente de las estaciones meteorológicas cercanas al área de estudio, proporcionada por la Comisión Nacional del Agua (CNA) y con registro histórico de 1965 a 2002. Las estaciones meteorológicas empleadas para *interpolación de estas variables al área de estudio se presentan en el Cuadro 4.*

Cuadro 4. Estaciones meteorológicas utilizadas en el análisis para determinar el índice meteorológico (CNA Durango).

ESTACIÓN	No	LONGITUD	LATITUD	ALTITUD
LAS BAYAS	10040	525522.31	2600588.25	1840
EL PUEBLITO	10023	528570.56	2650860.75	1889
STA.BARBARA	10073	510186.78	2631935.50	2316
OTINAPA	10051	498305.53	2663299.50	2400
NAVIOS	10048	494907.53	2635623.25	2492
EL SALTO	10025	462642.75	2630135.50	2560
ACAPONETA	18051	463568.78	2486962.68	31

3.3.1.2 Interpolación de la información meteorológica

Debido a que se carece de estaciones meteorológicas en el área de estudio, la temperatura máxima y la precipitación total mensual fueron estimadas mediante un modelo de regresión lineal múltiple, ya que este procedimiento presenta

ventajas de interpolación, pues muestra variaciones a nivel local aún en áreas pequeñas como la microcuenca de estudio. Otras metodologías de extrapolación (Muñoz, 2001) como los polígonos de Thiessen, el método ponderado con el inverso de la distancia, el método kriging, el índice de sequía o las isolíneas, generan información sin variación local a nivel predio, es decir, todo el predio entra en una sola categoría.

El modelo de regresión se construyó incorporando altitud (z), latitud (x) y longitud (y) como variables independientes. El modelo matemático empleado fue definido de la siguiente manera:

$$Y_i = \sum_{i=1}^p \beta_i X_i + \varepsilon_i$$

donde

$Y_{i, p}$ = Precipitación total mensual, variable respuesta o dependiente

$X_{i, p}$ = Variables independientes o regresores

$\beta_{i, p}$ = Parámetros del modelo

ε_i = Término de error

Por lo que $Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_p X_p + \varepsilon_i$

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \varepsilon$$

Entonces

$$PI_{\text{mensual}} = \beta_0 + \beta_1 z + \beta_2 x + \beta_3 y + \varepsilon$$

Se asume que se cumple con los supuestos básicos del análisis de regresión para los errores, es decir, que se distribuyen normalmente, tienen una varianza común y son independientes.

3.3.1.3. Elaboración de los modelos de precipitación y temperatura

Mediante el programa Arc/Info™ se construyeron matrices de valores para latitud y longitud en formato raster o de celdas, con resolución espacial de 40 m, que aunadas al Modelo Digital de Elevación (MDE), de igual resolución y los *parámetros obtenidos del análisis de regresión*, se construyeron las ecuaciones mensuales para precipitación y temperatura máxima, mismas que fueron utilizadas para generar los modelos espaciales respectivos, utilizando el programa ArcMap™. Mediante este procedimiento fueron creados los 12 modelos de precipitación máxima promedio mensual para el área de estudio, uno para cada mes, así como los 12 modelos para temperatura máxima promedio, también para cada mes, con resolución espacial de 40 m. Los modelos así obtenidos fueron reclasificados a la escala común 1-6 para su análisis con las otras coberturas del área de estudio.

3.3.1.4 Estandarización de la información

Debido a la diferencia en las unidades de cada variable, fue necesario clasificarlas a un rango numérico común, a fin de poder hacer comparaciones y referirlas a la misma escala. Se adoptó la escala de 1 a 6 para mínimo y máximo de acuerdo con los valores reales mínimos y máximos de cada variable en estudio para todos los meses, de tal forma que el máximo valor de asignación fue acorde con la máxima peligrosidad de incendios, dentro del rango de grados de muy bajo a extremo.

3.3.1.5 Derivación del modelo de exposiciones

Utilizando la información del MDE con curvas isométricas cada 20 m, se generó un modelo de aspecto o exposición, mismo que fue clasificado en rangos, considerando que existen variaciones de temperatura y humedad por efecto de radiación, que se manifiestan de acuerdo con la orientación de la pendiente. Estos rangos fueron ponderados en relación con el peligro de ocurrencia de incendios, considerándose mayor en exposiciones sur, intermedia en este y oeste y menor en norte.

La clasificación de exposiciones se presenta en el Cuadro 5.

Cuadro 5. Valores estandarizados por tipo de exposición

EXPOSICIÓN	CLASE
1 Norte	1
2 Noreste	2
3 Este	3
4 Sureste	5
5 Sur	6
6 Suroeste	4
7 Oeste	3
8 Noroeste	2

3.3.1.6. Ponderación de variables mediante evaluación multicriterio (EMC)

Para construir la matriz de comparación de criterios, se asignaron primero valores de importancia relativa de cada criterio en relación con los restantes, de acuerdo con la escala de valores que se muestra en el Cuadro 6. El procedimiento de cálculo se llevó a cabo mediante la suma de valores por columnas, la división de cada uno de los valores de la matriz por la suma de la columna correspondiente.

Cuadro 6. Escala de valores de importancia relativa

1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	
Extremo	Muy fuerte	Fuerte	Moderado	Igual	Moderado	Fuerte	Muy fuerte	Extremo	
Menor importancia						MAYOR IMPORTANCIA			

La matriz se completó con la puntuación otorgada en el sentido de las filas, comparando con el criterio de la columna correspondiente, por pares alternativos, de tal manera que los criterios de mayor importancia resultaron con las puntuaciones más altas. En el Cuadro 7 se muestran los valores asignados para el caso de la comparación de las variables precipitación, temperatura y exposición.

Cuadro 7. Matriz de comparación de criterios para determinar el índice meteorológico.

	Precipitación	Exposición	Temp. máxima
Precipitación	1	5	3
Exposición	1/5	1	1/3
Temp. máxima	1/3	3	1

El segundo paso fue obtener el promedio de los valores de cada fila, sumando los valores y divididos entre el número de criterios que intervinieron en la comparación, a fin de normalizarlos y poder compararlos. El resultado es un valor con ponderación de las posibilidades de comparación entre criterios. Por último se determina el índice de consistencia o de probabilidad de que los valores obtenidos fueron generados de manera aleatoria. Al respecto, se considera que un valor inferior a 0.10 indica un nivel de consistencia aceptable en las comparaciones.

3.3.2 Determinación del índice de combustibles forestales

Se tomó como base el inventario de combustibles para determinar cargas de combustibles por rodal, y se procedió a la transformación de formato vectorial a celdas y posteriormente a la estandarización de valores, de acuerdo con la metodología antes mencionada. Para la determinación del índice de combustibles, se utilizó de la misma manera la comparación apareada de la EMC, construyéndose la matriz de comparaciones de variables como se indica en Cuadro 8.

Cuadro 8. Matriz de comparación de criterios para determinar el índice de combustibles.

	Total	Pesados	Hojarasca	Espesor	Ligeros
Total	1	3	1/3	1/2	1/3
Pesados	1/3	1	1/3	1/3	1/2
Hojarasca	3	3	1	1	1
Espesor	2	3	1	1	1
Ligeros	3	2	1	1	1

3.3.3 Determinación del índice de causales

Para la determinación del índice de causales de incendios forestales y tratando de ponderar las actividades humanas en el bosque, fueron consideradas la distancia a las localidades ubicadas dentro o aledañas al áreas de estudio, así como la distancia a caminos, las áreas de corta en rodales de aprovechamiento, quemas de tipo agropecuario y la posible influencia de actividades ilícitas

provenientes de la barranca aledaña. Para ello se generó la respectiva matriz de comparación de EMC, como se indica en el Cuadro 9.

Cuadro 9. Matriz de comparación de criterios para determinar el índice de causales.

	Poblados	Área corta 8	Agricultura	Caminos	Barranca
Poblados	1	1/2	1/3	1/2	1/2
Área corta 8	2	1	1/3	1/2	1/2
Agricultura	3	3	1	1	1
Caminos	2	2	1	1	1/2
Barranca	2	2	1	2	1

El procedimiento para representar la actividad humana, se basó en la creación de áreas de amortiguamiento (buffer) o de influencia sobre la información vectorial de poblados, caminos y áreas agrícolas, así como una franja de protección en el límite con la barranca para protección contra incendios provenientes de la quema de desechos de la tala con fines de cultivo.

Para el caso de poblados se consideró una distancia de 1,000 m, mientras que para caminos y quemas agrícolas se aplicó una distancia de 50 m. Se incluyó en el análisis las áreas de corta de la anualidad ocho, correspondiente al periodo de aprovechamiento 2004-2005 y un área de amortiguamiento de 50 m en el límite con la barranca. Esta información fue transformada a formato de celdas y reclasificada a la escala 1 - 0 (cierto-falso) para su análisis.

3.3.4 Determinación del índice de peligro de incendios forestales (IPI)

Con los tres índices anteriormente generados, el meteorológico, el de combustibles y el de causales, se procedió a su integración en el índice de peligro de incendios, aplicando la misma metodología de EMC para ponderación de criterios. La matriz de comparación aplicada se muestra en el Cuadro 10.

Cuadro 10. Matriz de comparación de criterios para determinar el índice de peligro de incendios forestales.

	Índice Meteorológico	Índice de Combustibles	Índice de Causales
Índice Meteorológico	1	2	2
Índice de Combustibles	1/2	1	1
Índice de Causales	1/2	1	1

3.4 Determinación del plan de manejo de combustibles forestales (PMC)

Teniendo como insumos los modelos del IPI, de rodalización y de tratamientos, y la inclusión del modelo de pendientes, derivado del MDE, se procedió análisis para desarrollar las alternativas de manejo de combustibles forestales para el área de estudio. Se consideraron las prácticas siguientes: 1) realización de apilado, cuartazal o triturado de materiales residuales, 2) acordonamiento (acomodo de material en cordones perpendiculares a la pendiente), 3) aplicación de quema controlada a material apilado, y 4) aplicación de quema controlada a hojarasca, en dos modalidades, de acuerdo con el diagrama de la Figura 7.

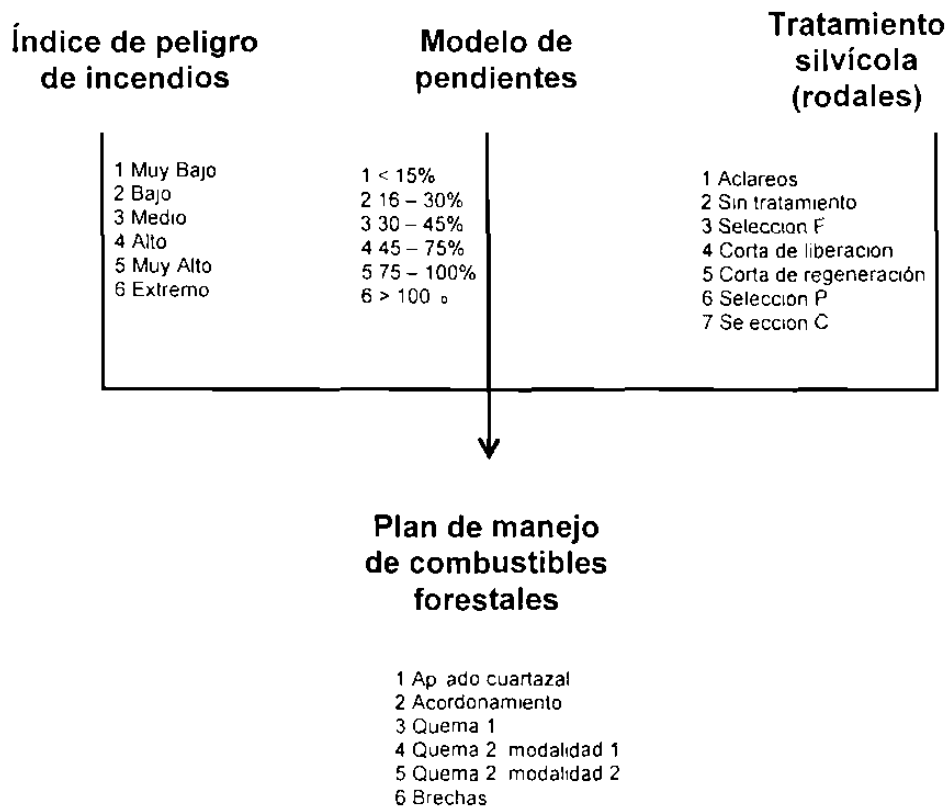


Figura 7. Diagrama de flujo para el desarrollo del plan de manejo de combustibles forestales.

Para lo anterior cada modelo fue debidamente reclasificado y mediante el empleo de operadores matemáticos (+, -, /, *) y de lógica booleana (AND, OR, XOR, NOT) se generaron los modelos para cada alternativa de manejo de combustibles, utilizando ArcMap™. El manejo de la información se realizó en el mismo formato de celdas, con resolución espacial de 40 m.

Además de los criterios implícitos en cada cobertura o modelo anterior, se emplearon los derivados de la experiencia de los técnicos de los servicios técnicos del ejido y del autor, con el propósito de darle validez y un sentido práctico a los resultados. En el Cuadro 11 se muestran las prácticas de manejo recomendadas y los criterios de aplicación o restricciones.

Cuadro 11. Prácticas de manejo de combustibles y criterios técnicos para su implementación.

PRÁCTICA DE MANEJO	CRITERIOS
1 Apilado/cuartazal/triturado	Pendiente mayor de 30% Tratamiento: Aclareos, cortas de regeneración y cortas de liberación
2 Acordonado	Pendiente mayor de 30% Tratamiento: Selección
3 Quema 1. Material apilado	1 + IPI menor de clase 3 (moderado)
4 Quema 2. Hojarasca, modalidad 1	1 + IPI menor de clase 3 Regeneración establecida
5 Quema 2. Hojarasca, modalidad 2	2 + IPI menor de clase 3 Regeneración establecida
6 Construcción y mantenimiento de brechas	Antes y durante la temporada de incendios

Se utilizó información cartográfica temática y forestal del SIG del ejido en formato vectorial. La cartografía generada mediante este trabajo se ajustó a las características de la cartografía del ejido, buscando compatibilidad, por lo que se utilizó la Proyección Transversal de Mercator, el Esferoide de Clarke de 1866 y el Sistema de Coordenadas UTM.

CAPÍTULO 4

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Cargas de hojarasca

4.1.1 Cargas de hojarasca en el ciclo de corta

En la información de cargas de hojarasca promedio considerando la anualidad, existe un incremento en la acumulación de combustible desde la fecha de la cosecha hasta los cuatro años en que alcanza su máximo nivel con más de $22 \text{ Mg}^1 \text{ ha}^{-1}$, pero inferior a lo reportado por Arno (20002) de hasta 27 Mg ha^{-1} para el piso forestal de los bosques de *Pinus ponderosa* de Arizona. Paysen y otros (2000) reportaron para la misma especie 10.8 Mg ha^{-1} en el Parque Nacional Tonto y 45 Mg ha^{-1} en el Parque Nacional del Gran Cañón. Esto tiene su explicación en la defoliación de las ramas residuales del aprovechamiento, así como en la acumulación por la caída natural de las acículas, misma que de acuerdo con Marmolejo², varía con la especie y que para *Pinus arizonica* ocurre a una tasa de deposición diaria superior a 17 kg ha^{-1} (6.2 Mg ha^{-1} anuales).

¹ Megagramo, equivalente a 1,000 kilogramos = 1 tonelada

² Dr. José Guadalupe Marmolejo Monsivais. Comunicación personal, 2004.

Después de los cuatro años desciende y vuelve a incrementar su nivel hasta lograr otro pico a los ocho años de transcurrido el aprovechamiento y finalmente desciende al concluir el ciclo de corta de 10 años (Figura 8). Las altas concentraciones de hojarasca reflejan la defoliación de encinos y otras hojosas, cuya cuantía está en función del potencial productivo del lugar, que como se indicó anteriormente, alcanza 21 m en el año cuatro.

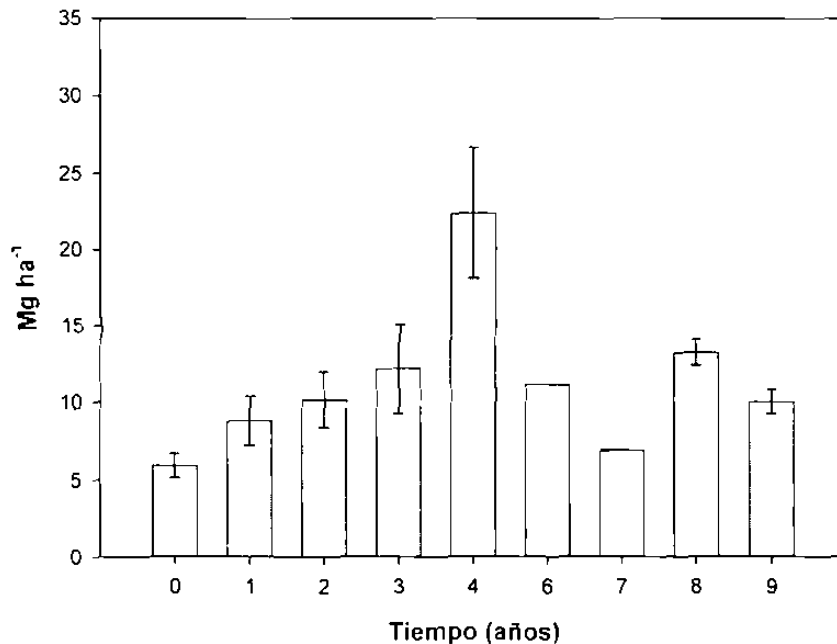


Figura 8. Acumulación de hojarasca a través del ciclo de corta de 10 años en el ejido Pueblo Nuevo, Dgo.

Las cargas de combustibles incrementa paulatinamente debido a la ausencia de fuego y donde los rodales muy densos reducen la radiación solar hacia el piso forestal, resultando en un decremento en la tasa de descomposición. La tasa de acumulación de combustible depende de varios factores biofísicos que controlan la

descomposición, incluyendo el índice de sitio, la precipitación y el clima (Keane, 2002).

Para Wade y colaboradores (2000) el material del piso forestal y ligero varía ampliamente con el sitio, el área basal residual (AB) y el tiempo transcurrido desde el último incendio. Las acumulaciones pueden incrementar desde 5 a 10 veces desde un año antes de un incendio a 20 años después. Reportan que para los bosques de pino maduros del sureste sobre la Planicie Costera del Atlántico, la acumulación promedio de hojarasca varía de 3.4 Mg ha^{-1} bajo un régimen de quema anual a 29 Mg ha^{-1} después de 40 años sin quemas. Por otro lado, la acumulación incrementa de acuerdo con la densidad del rodal, medida a través del AB, por lo que a mayor AB mayor será la acumulación de hojarasca, la cual tiene también una variación en el tiempo.

Por otro lado, existe un decremento debido al proceso natural de degradación de la hojarasca, que inicia desde la deposición del material. En ese sentido, reportes de Marmolejo y Garza (2003) sobre la degradación de hojarasca de algunos pinos en Nuevo León, indican pérdidas de peso promedio anual de 10.38%, 8.65% y 8.75% para *Pinus pseudostrobus*, *P. arizonica* y *P. cembroides*, respectivamente. Reportes de Hart y otros (1962) citado por Wade (2000) señalan una defoliación promedio anual en hojosas del Noreste de New Hampshire de 3.16 Mg ha^{-1} y cuya tasa de descomposición, indicada como "medios –tiempos" (años requeridos para perder la mitad del peso seco original), varía de 1.1 para *Betula alleghaniensis* a 2.5 años para *Fagus grandifolia*, el cual es alto. La profundidad típica alcanza de 5 a 8 cm.

En cuanto a la profundidad de la cama de combustibles finos, se tuvo un promedio de 2.65 cm con espesor máximo al año cuatro con 4.82 cm, en que se tiene también la mayor acumulación (Figura 9), pero sin mostrar una tendencia clara.

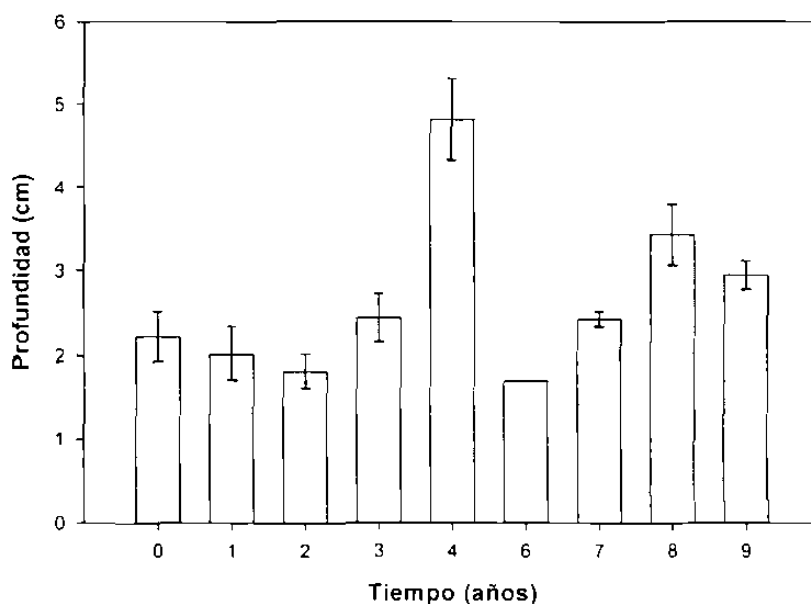


Figura 9. Profundidad de la hojarasca a través del ciclo de corta de 10 años en el ejido Pueblo Nuevo, Dgo.

4.1.2 Cargas de hojarasca por tratamiento silvícola

Los resultados muestran cargas de hojarasca superiores a 10 Mg ha^{-1} en todos los tratamientos, siendo éstas mayores en selección con 12.69 Mg ha^{-1} y muy similares entre el tratamiento de aclareo y cortas de regeneración (Figura 10). El tratamiento de selección, caracterizado precisamente por la remoción selectiva de arbolado maduro, aporta las mayores cantidades de hojarasca, debido a los

altos niveles de densidad de renuevo y arbolado joven existente en el área, así como al volumen de corta aplicado, ya que en la mayor parte de la superficie en estudio se aplica este tratamiento. Esto ocasiona sombra y un microclima adecuado para retardar tasas de degradación u oxidación, y por lo tanto de acumulación de hojarasca. En general son resultados similares a los obtenidos por Muñoz (2001) para bosque de pino-encino del estado de Nuevo León, con cargas de 11.53 Mg ha^{-1} .

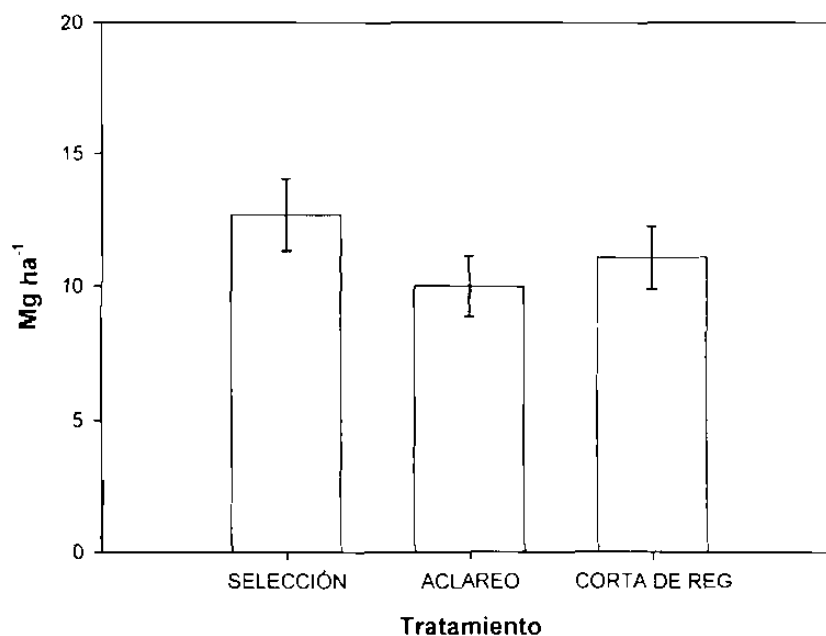


Figura 10. Cargas de hojarasca por tratamiento silvícola en el ejido Pueblo Nuevo, Dgo.

Wendel y otros (1962) citados por Wade (2000) reportaron acumulaciones típicas de hojarasca para los bosques mezclados de *Pinus serotina* y arbustos de New Jersey, de 13 a 18 Mg ha^{-1} con vegetación arbustiva de 1.2 m de altura, de

18 a 22 Mg ha⁻¹ con arbustos de 1.5 m y hasta 34 Mg ha⁻¹ con arbustos mayores de 4 m.

La profundidad es también muy similar y conserva la misma tendencia, con un promedio de 2.72 cm de espesor y alcanzando 3 cm en el tratamiento de selección (Figura 11), confirmando el reporte preliminar de Muñoz y colaboradores (2003), para este tratamiento silvícola. El mismo autor reportó 3.05 cm de profundidad para el bosque de *Pinus pseudostrobus* en Nuevo León (Muñoz, 2001).

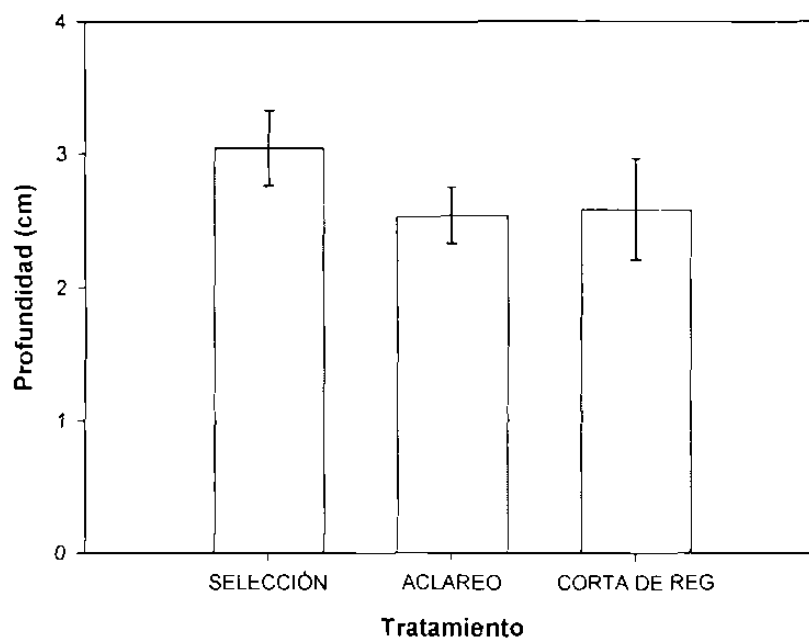


Figura 11. Profundidad de hojarasca promedio por tratamiento silvícola en el ejido Pueblo Nuevo, Dgo.

4.1.3 Cargas de hojarasca por categoría de pendiente

Considerando la pendiente, la hojarasca muestra una acumulación muy similar en las dos primeras categorías con cargas por debajo de las 10 Mg ha⁻¹, pero con una clara tendencia a incrementar gradualmente en las mayores pendientes, precisamente en áreas con tratamiento de selección, hasta alcanzar 13.57 Mg ha⁻¹ en la categoría 5, aunque los datos presentan mayor error estándar. El promedio es de 11.45 Mg ha⁻¹ (Figura 12).

De igual manera, las mayores profundidades se obtuvieron precisamente en las mayores pendientes, con espesores cercanos a 4 cm (Figura 13).

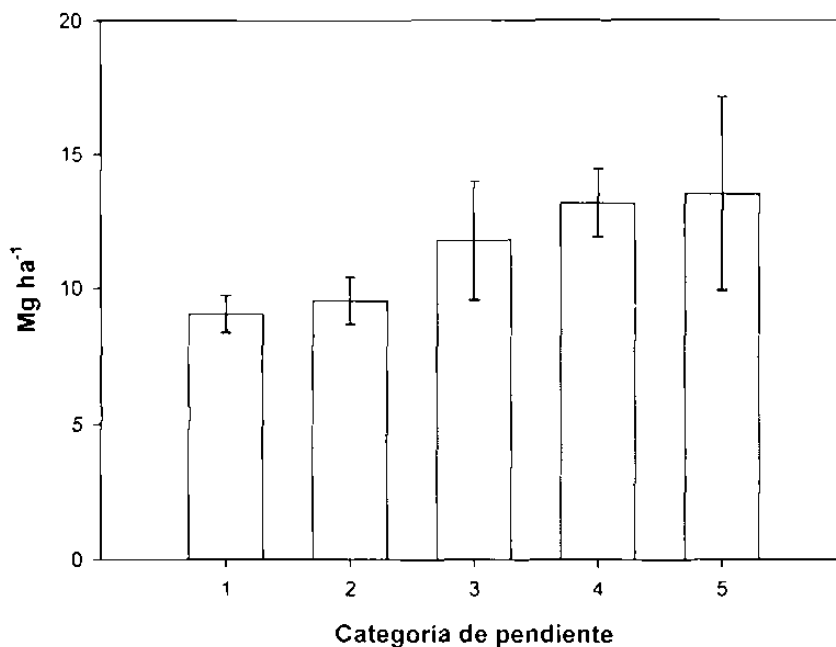


Figura 12. Cargas de hojarasca por categoría de pendiente en la microcuenca Vaquería del ejido Pueblo Nuevo, Dgo.

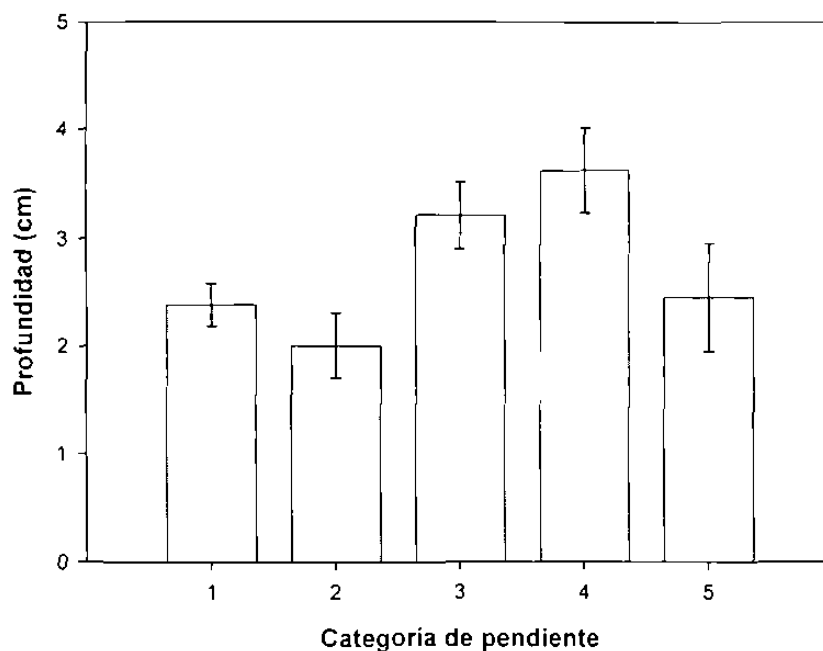


Figura 13. Profundidad de hojarasca por categoría de pendiente en el ejido Pueblo Nuevo, Dgo.

4.1.4 Cargas de hojarasca por calidad de estación

En la Figura 14 se presentan los resultados de cargas de hojarasca por calidad de estación, destacando las calidades III y IV, de productividad media y de mayor frecuencia en el área de estudio y donde se ha aplicado el tratamiento de selección, con acumulaciones superiores a 10 Mg ha^{-1} . En la calidad de estación III se tienen en promedio casi 13 Mg ha^{-1} .

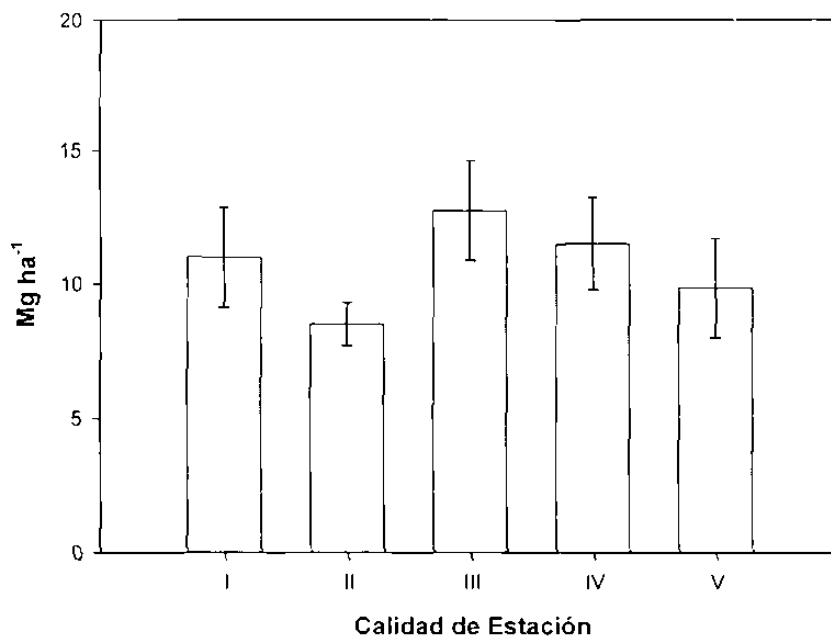


Figura 14. Cargas de hojarasca por calidad de estación en el ejido Pueblo Nuevo, Dgo.

4.1.5 Cargas de hojarasca por exposición

La exposición es de gran importancia en materia de incendios por la cantidad de insolación que recibe el material combustible, haciéndolo disponible para el fuego. La mayor concentración de hojarasca se presenta en la exposición sur, con cargas que superan 20 Mg ha^{-1} , duplicando las concentraciones en la exposición norte, generalmente más húmedas y de mayor frecuencia en la zona estudiada (Figura 15). A pesar de que existe mayor radiación anual en esta exposición, y por ende mayor oxidación, en el tratamiento de selección la tasa de deposición de acículas supera la tasa de descomposición. La profundidad de las cargas de hojarasca mantiene la misma tendencia, con mayor espesor en la exposición sur.

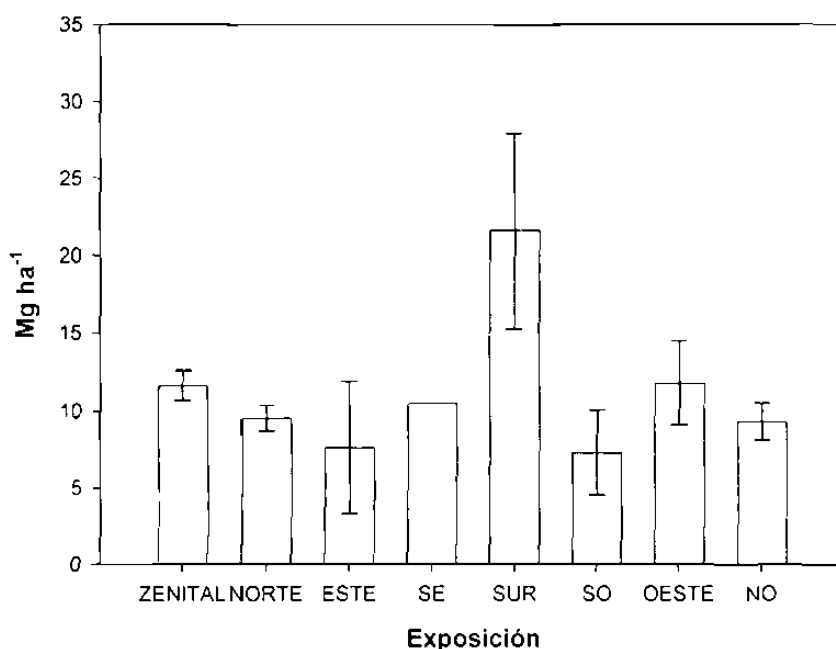


Figura 15. Cargas de hojarasca promedio por exposición en el ejido Pueblo Nuevo, Dgo.

4.2 Cargas de combustibles leñosos

4.2.1 Cargas de combustibles leñosos durante el ciclo de corta

En relación con el análisis de la información de cargas de combustibles promedio durante el ciclo de corta, se determinó que los combustibles ligeros alcanzan su máximo nivel al segundo año con 23.31 Mg ha^{-1} , decreciendo esta cantidad al mínimo en año seis, y vuelven a incrementar paulatinamente hasta el año 9. En cambio, los combustibles pesados incrementan hasta el tercer año con 27.39 Mg ha^{-1} ; a partir del cual decrecen. Estos valores son superiores a los reportados por Muñoz (2001) para bosques en aprovechamiento con cargas

máximas de casi 18 Mg ha⁻¹, aunque inferiores a las cargas estimadas de hasta 42 Mg ha⁻¹ para bosques de pino en Chihuahua por Alanís y Orozco (2000), y las reportadas por Flores y Benavides (1994) en Jalisco de 53 Mg ha⁻¹. Paysen y otros (2000) reportaron cargas de combustibles leñosos de 48.6 Mg ha⁻¹ en rodales de *Pinus ponderosa* en el Parque Nacional del Gran Cañón, en el suroeste de los Estados Unidos.

Los combustibles leñosos totales, es decir, la suma de combustibles ligeros y pesados, mantienen esta misma tendencia, con una acumulación máxima de 43.12 Mg ha⁻¹ al tercer año de la cosecha, la cual es considerada alta, de acuerdo con el grado de peligro desarrollado por Zapata (1991) para Topia, Dgo. A partir de ahí inicia el declive y vuelve a incrementar desde el año 6 (Figura 16).

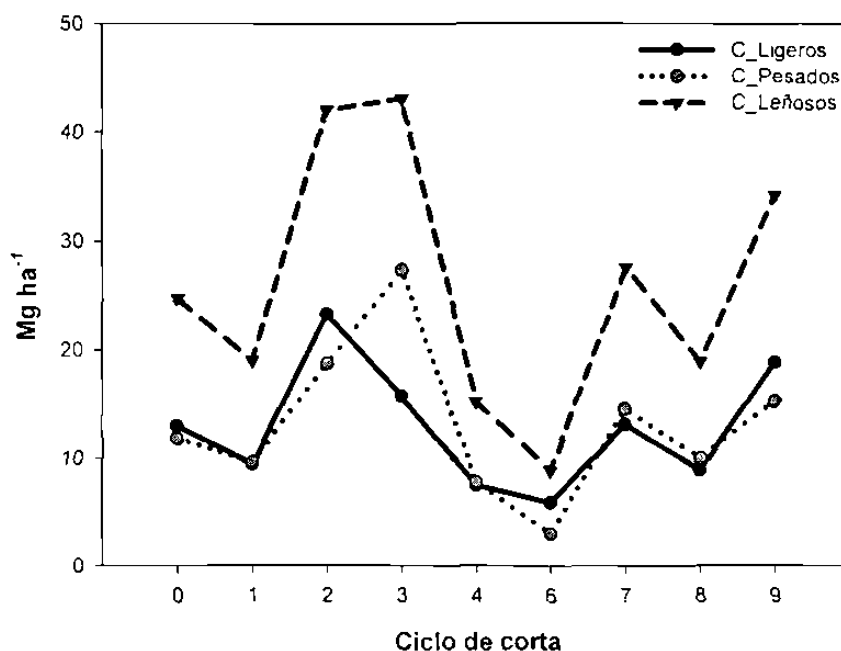


Figura 16. Acumulación de combustibles leñosos durante el ciclo de corta en el ejido Pueblo Nuevo, Dgo.

A partir del año de corta se inicia aparentemente una paulatina acumulación debido entre otros factores a mortalidad natural y caída debido al viento, pero combinada con mortalidad por efecto de la extracción, que aunque se cumple con los cuidados propios de la actividad, siempre habrá daños al renuevo y arbolado cercano. Después de alcanzar su nivel máximo inicia el proceso de descomposición de la madera, debido al efecto natural de oxidación, con la consecuente pérdida de peso. Se tienen cargas promedio de 12.84, 13.11 y 25.95 Mg ha^{-1} para combustibles ligeros, pesados y totales en el área de estudio, siendo ésta última moderada, de acuerdo con el mismo autor (Zapata, 1991). Gore y Patterson (1986) citados por Wade (2000) reportaron que la carga de combustibles leñosos en rodales de hojosas de viejo crecimiento del Noreste de New Hampshire, declinó drásticamente después de los primeros 10 años desde la corta, estabilizándose en 42 Mg ha^{-1} .

4.2.2 Cargas de combustibles leñosos por tratamiento silvícola

Las mayores concentraciones de combustibles leñosos totales se presentaron en los tratamientos de cortas de regeneración con 36.59 Mg ha^{-1} , seguido por los aclareos con 31.03 Mg ha^{-1} y selección con 21.84 Mg ha^{-1} (Figura 17). En los primeros tratamientos por lo general se aplican mayores intensidades de corta, llegando en cortas de regeneración hasta 70% del arbolado adulto, por lo que es natural que generen las mayores cantidades de desperdicios leñosos. Las máximas acumulaciones corresponden a la aplicación de los tratamientos de

aclareo y cortas de regeneración, lo cual coincide con el reporte preliminar de Muñoz y colaboradores (2003).

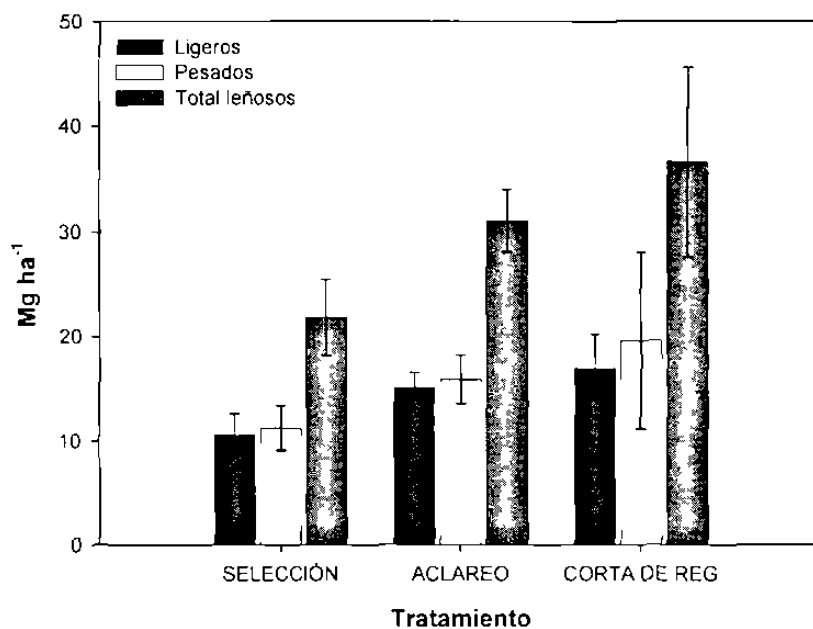


Figura 17. Acumulación de combustibles leñosos por tratamiento silvícola en el ejido Pueblo Nuevo, Dgo.

4.2.3 Cargas de combustibles leñosos por calidad de estación

En el área de estudio se tienen calidades de estación I a V, de las cuales las más representativas de la zona son las de productividad media III y IV. Las cargas de combustibles son más altas en III para combustibles leñosos con 38 Mg ha⁻¹, contrastados con I, IV y V (Figura 18), posiblemente debido a que en esas áreas recae la mayor parte del aprovechamiento por ser el más frecuente. Estas cargas en realidad se consideran bajas, comparadas con los reportes de Arno (2000) de

67 Mg ha⁻¹ en bosques de pino de alta productividad en Arizona y 110 Mg ha⁻¹ en rodales de *Pseudotsuga*.

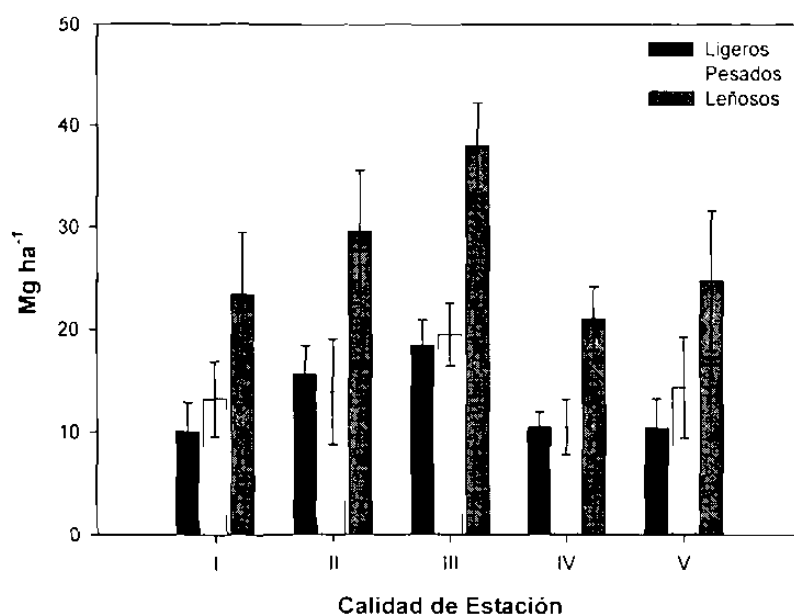


Figura 18. Acumulación de combustibles leñosos por calidad de estación en el ejido Pueblo Nuevo, Dgo.

4.2.4 Cargas de combustibles leñosos por pendiente

Los resultados del análisis arrojan que los combustibles leñosos totales presentan su mínima acumulación en la categoría de pendiente 5 (>40%) con menos de 10 Mg ha⁻¹. La tendencia mostrada es aumentar gradualmente para tener los valores máximos en la categoría 2, alcanzando 20 Mg ha⁻¹ (Figura 19). De acuerdo con esta tendencia, las mayores concentraciones se presentan en aquellas áreas con menor pendiente, debido muy probablemente a que las prácticas de cuartazal se realizan mejor, con los materiales fijos al terreno y sin

posibilidad de rodamientos, a los tratamientos y calidad de estación del lugar. Estas áreas poseen generalmente tratamientos de aclareos y cortas de regeneración.

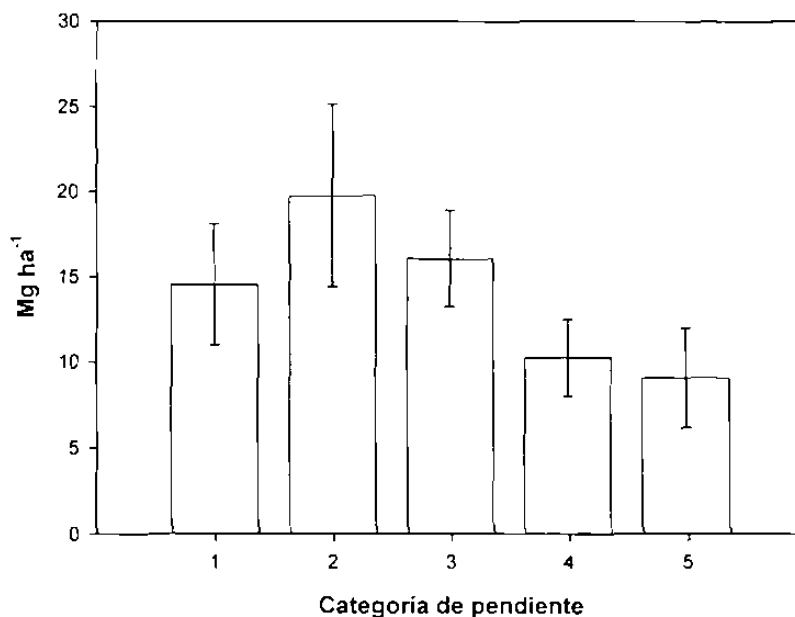


Figura 19. Acumulación de combustibles leñosos por categoría de pendiente en el ejido Pueblo Nuevo, Dgo.

4.2.5 Cargas de combustibles leñosos por exposición

Como se muestra en la Figura 20, se presentaron cantidades superiores a 20 Mg ha⁻¹ en las diferentes exposiciones, con excepción de SE que no alcanzó 5 Mg ha⁻¹. El promedio para el área de estudio fue de 24 Mg ha⁻¹. La exposición S, de mayor peligro para la presencia de incendios debido a que recibe la mayor cantidad de insolación, resultó con casi 22 Mg ha⁻¹, lo cual resulta de interés en la toma de decisiones para definir el modelo de incendios.

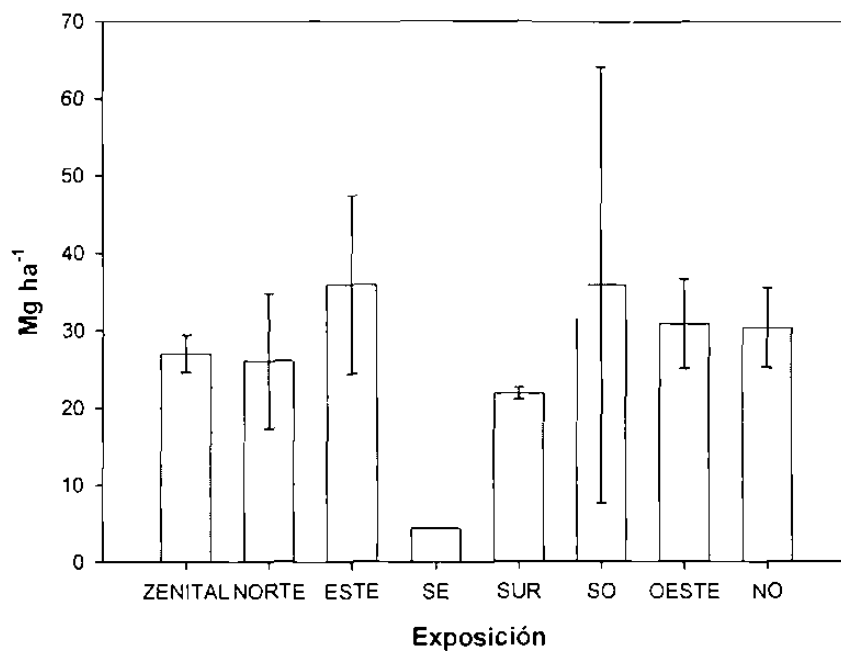


Figura 20. Acumulación de combustibles leñosos por exposición en el ejido Pueblo Nuevo, Dgo.

4.3 Carga total de combustibles

4.3.1 Carga total de combustibles durante el ciclo de corta

Los combustibles totales, es decir, la suma de hojarasca, combustibles ligeros y pesados, alcanzan la acumulación máxima de 55.29 Mg ha⁻¹ al tercer año de la cosecha, a partir de ahí inicia el declive llegando al mínimo nivel al sexto año con 20 Mg ha⁻¹ (Figura 21).

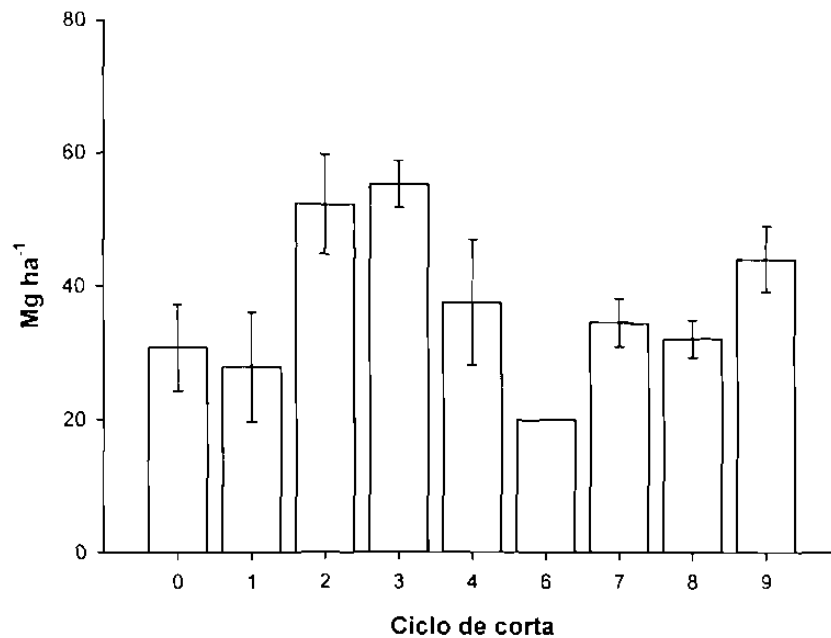


Figura 21. Acumulación total de combustibles a través del ciclo de corta de 10 años en el ejido Pueblo Nuevo, Dgo.

4.3.2 Carga total de combustibles por tratamiento silvícola

En general, se tienen las mayores concentraciones de combustible promedio total en la corta de regeneración, atribuido principalmente a la intensa remoción de arbolado que caracteriza a este tratamiento; le sigue en orden de importancia el aclareo y selección (Figura 22). El promedio es de 41.07 Mg ha⁻¹. Es importante mencionar que la información para cortas de regeneración presenta el mayor error estándar por inconsistencia en la intensidad de muestreo, ya que se tienen menos áreas con este tratamiento en el área de estudio.

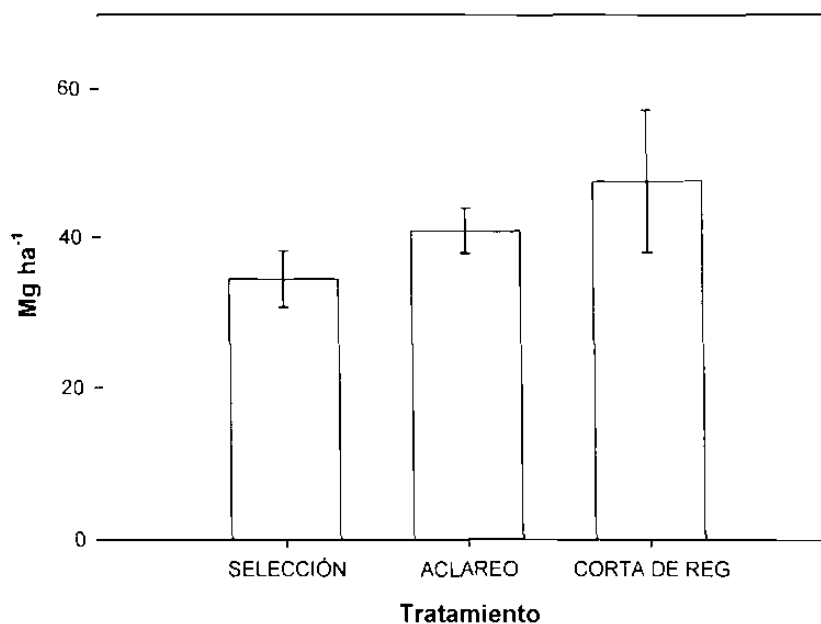


Figura 22. Cargas de combustibles totales promedio por tratamiento silvícola en el ejido Pueblo Nuevo, Dgo.

4.3.3 Carga total de combustibles por calidad de estación

De manera similar que para combustibles leñosos y seguramente por influencia de éstos, las cargas de los combustibles totales son más altas en la calidad de estación III con alrededor de 50 Mg ha⁻¹, contrastados con I, IV y V (Figura 23), con promedio superior a 30 Mg ha⁻¹.

4.3.4 Carga total de combustibles por categoría de pendiente

Los combustibles totales alcanzan un valor máximo en la categoría 2 con cerca de 45 Mg ha⁻¹, a partir de la cual empiezan su decremento (Figura 24),

correspondiendo entonces las mayores concentraciones para aquellas áreas con menor pendiente, es decir, con tratamientos de aclareos y cortas de regeneración.

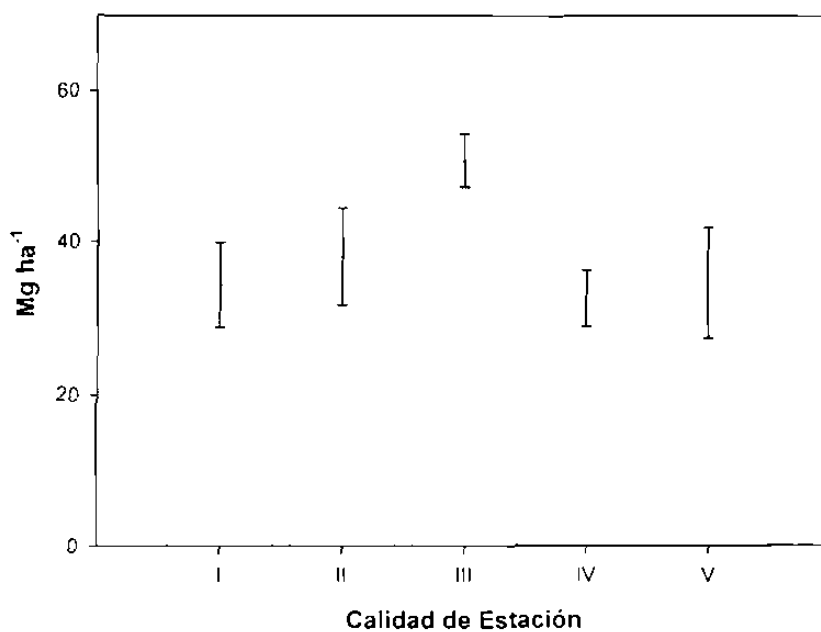


Figura 23. Cargas de combustibles totales promedio por calidad de estación en el ejido Pueblo Nuevo, Dgo.

4.3.5 Carga total de combustibles por exposición

Como se muestra en la Figura 25, se presentaron cargas muy similares, en las diferentes exposiciones, superiores o cercanas a 40 Mg ha^{-1} , con excepción de la SE que apenas alcanzó 15 Mg ha^{-1} . La exposición S resultó en 40 Mg ha^{-1} , a diferencia de la exposición N.

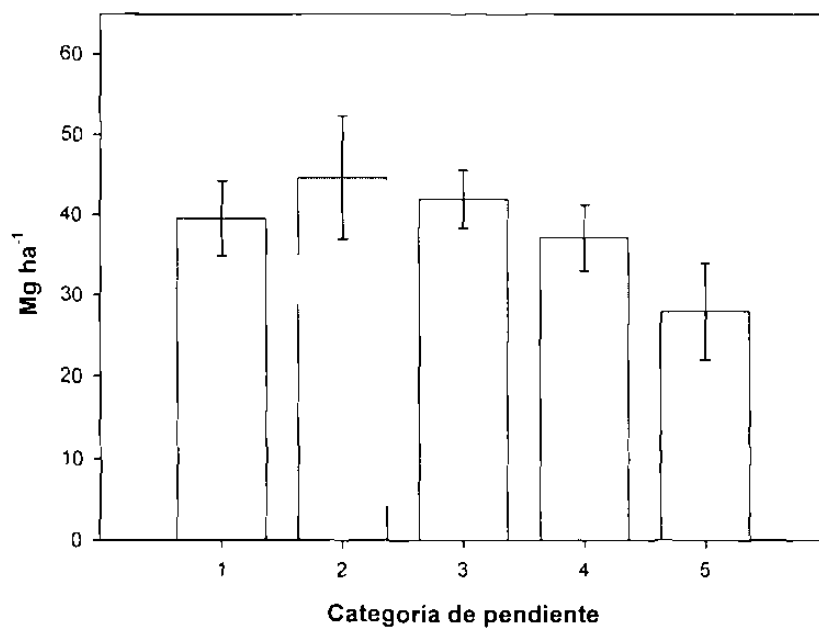


Figura 24. Cargas de combustibles promedio total por categoría de pendiente en la microcuenca Vaquería del ejido Pueblo Nuevo, Dgo.

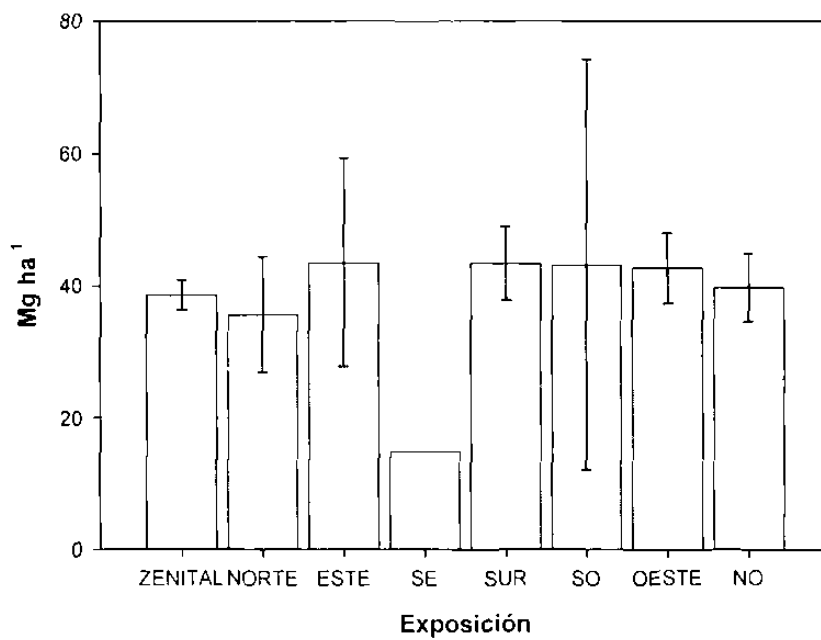


Figura 25. Acumulación total de combustibles por exposición en el ejido Pueblo Nuevo, Dgo.

4.4 Índice de peligro de incendios

4.4.1 Índice meteorológico

4.4.1.1 Interpolación de variables mediante análisis de regresión

Se desarrolló un análisis de regresión lineal múltiple con los datos de temperatura máxima promedio mensual y precipitación total promedio mensual de las siete estaciones meteorológicas cercanas al área de estudio, con el propósito de interpolar los resultados a dicha área. Los estadísticos obtenidos se presentan en el Cuadro 12.

Cuadro 12. Estadísticos del análisis de regresión para las variables precipitación total promedio mensual y temperatura máxima promedio mensual (Periodo 1965-2002).

Mes	Precipitación			Temperatura		
	R ²	Error estándar	P > F	R ²	Error estándar	P > F
Enero	0.73	8.5542	0.2155	0.98	0.90028	0.0046
Febrero	0.98	1.0480	0.0028	0.98	0.7338	0.0030
Marzo	0.93	1.7463	0.0281	0.97	0.93783	0.0061
Abril	0.85	2.6548	0.0871	0.97	0.96795	0.0079
Mayo	0.94	2.8052	0.0240	0.96	1.0417	0.0128
Junio	0.68	18.087	0.2700	0.96	0.99834	0.0099
Julio	0.95	19.776	0.0169	0.99	0.32290	0.0002
Agosto	0.98	13.188	0.0027	0.99	0.11658	0.00001
Septiembre	0.99	10.486	0.0016	0.99	0.44005	0.0006
Octubre	0.90	6.4012	0.0463	0.98	0.74031	0.0027
Noviembre	0.87	4.6242	0.0710	0.98	0.83069	0.0031
Diciembre	0.65	13.981	0.3210	0.98	0.95948	0.0043

Para el caso de precipitación, se obtuvieron ajustes significativos con nivel de $\alpha = 0.05$, con excepción de los meses de diciembre, enero y junio donde se tienen

los mayores valores de error estándar, menor R^2 y por ende no significancia para el nivel de $\alpha= 0.05$. En la variable temperatura se obtuvieron los mejores ajustes para todos los meses, con R^2 altas y modelos significativos con nivel de $\alpha= 0.01$. El gradiente vertical de temperatura medio, determinado en $0.65\text{ }^\circ\text{C}$ por cada 100 m de altitud para la atmósfera inferior (Campos, 1992), en este caso y de acuerdo con el parámetro asociado a la altitud, resultó en $0.85\text{ }^\circ\text{C}$ por cada 100 m para el área de estudio, el cual se considera elevado.

En general se aprecia un aporte importante del factor altitud, más que la latitud y la longitud, mostrando consistentemente una mayor dependencia de la variable temperatura, por lo que estos resultados crean buenas expectativas sobre la interpolación de las variables al área de estudio. Las ecuaciones completas para cada variable y mes se presentan en el Apéndice A

4.4.1.2 Aplicación de la evaluación multicriterio (EMC)

Mediante la aplicación de la EMC, se construyó la matriz de comparaciones (ver Cuadro 7) de los criterios de tal manera que los cálculos determinaron la ponderación de los valores para las variables del índice meteorológico, como se muestra en el Cuadro 13.

Cuadro 13. Valores de importancia para determinar el índice meteorológico.

Variable meteorológica	Valor
Precipitación total	0.634
Exposición	0.106
Temperatura máxima	0.261
Índice de consistencia = 0.02	

Con los valores ponderados antes obtenidos y con los modelos estandarizados de precipitación, temperatura y exposición, mediante ArcMap™ fueron integrados los índices meteorológicos para cada mes, resultando en 12 modelos mensuales, cuyos valores máximos se presentan en el Cuadro 14.

Cuadro 14. Valores máximos mensuales del índice meteorológico.

MES	Valor máximo de IM
Enero	4.84
Febrero	5.48
Marzo	5.74
Abril	5.74
Mayo	6.00
Junio	4.10
Julio	3.20
Agosto	2.68
Septiembre	3.20
Octubre	4.47
Noviembre	5.11
Diciembre	4.21

Es posible apreciar que los mayores valores corresponden justamente al periodo de febrero a mayo, donde alcanza su nivel máximo con un valor de IM=6, precisamente los meses de menor precipitación y consecuentemente, de mayor peligro para el inicio y propagación de incendios forestales. De manera alternativa, los valores menores de este índice meteorológico coinciden con la temporada de lluvias, en los meses de julio a septiembre, resultando el mes de agosto con el menor valor de IM=2.68, de donde inicia otro incremento alcanzando otro pico importante en el mes de noviembre con IM=5 (Figura 26).

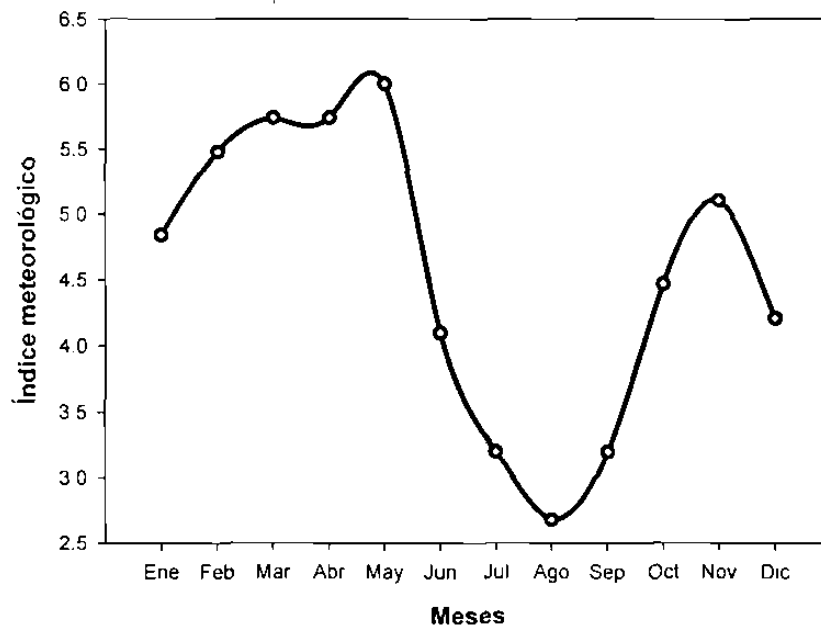


Figura 26. Valores máximos mensuales del índice meteorológico para la microcuena Vaqueria del ejido Pueblo Nuevo, Dgo.

En la Figura 27 se presenta el modelo del índice meteorológico más alto, correspondiente al mes de mayo, correspondiendo la mayor superficie al grado Muy Alto. En el Apéndice B se presentan los 12 modelos mensuales.

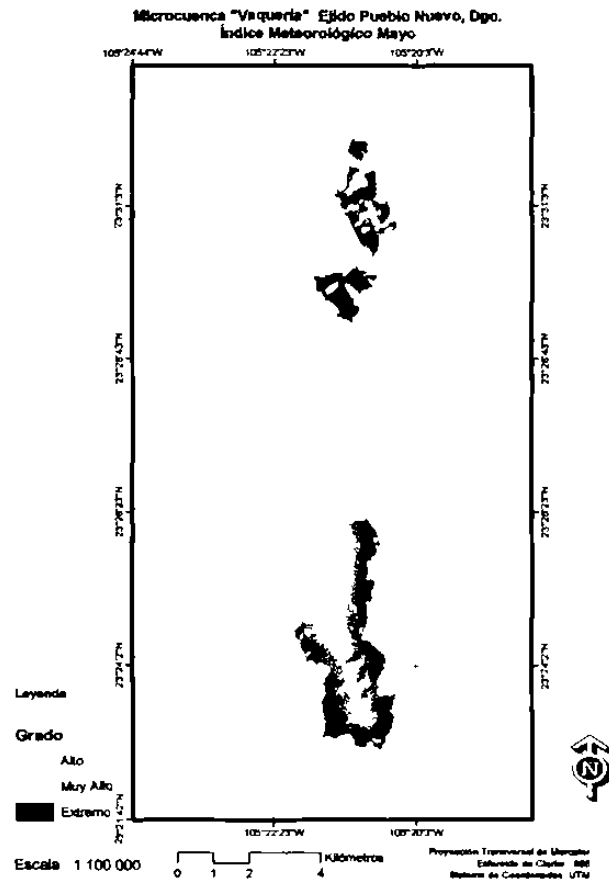


Figura 27. Modelo del índice meteorológico de la microcuenca Vaquería del ejido Pueblo Nuevo, Dgo., correspondiente al mes de mayo.

4.4.2 Índice de combustibles

Se generaron cuatro modelos de cargas de combustibles forestales y uno de espesor de hojarasca, a partir del inventario de combustibles (Cuadro 15), cuyos valores fueron reclasificados en el rango de 1 a 6, a fin de realizar el análisis en una escala estandarizada.

Cuadro 15. Rango de valores de los modelos de combustibles forestales.

Tipo de Combustible	Rango de cargas de combustibles
Total	28.52-56.15
Pesados	6.92-31.50
Ligeros	2.50-20.04
Hojarasca	7.34-26.62
Espesor	1.94- 4.51

Con el procesamiento de la matriz de comparaciones de la EMC (ver Cuadro 8) se generaron los valores de importancia para desarrollar el índice de combustibles. Los valores se presentan en el Cuadro 16

Cuadro 16. Valores ponderados para determinar el índice meteorológico.

Combustible	Valor de Índice de Combustibles
Total	0.133
Pesados	0.085
Hojarasca	0.273
Espesor	0.252
Ligeros	0.257
índice de consistencia de 0.04	

Los valores ponderados fueron aplicados a las capas de combustibles estandarizadas para generar el índice de combustibles, mediante la integración de las respectivas capas de celdas en ArcMap™, resultando un sólo mapa del citado índice, mismo que fue reclasificado a la escala de 1 a 6, como se muestra en la Figura 28, sobresaliendo la clase 4 con una mayor superficie.

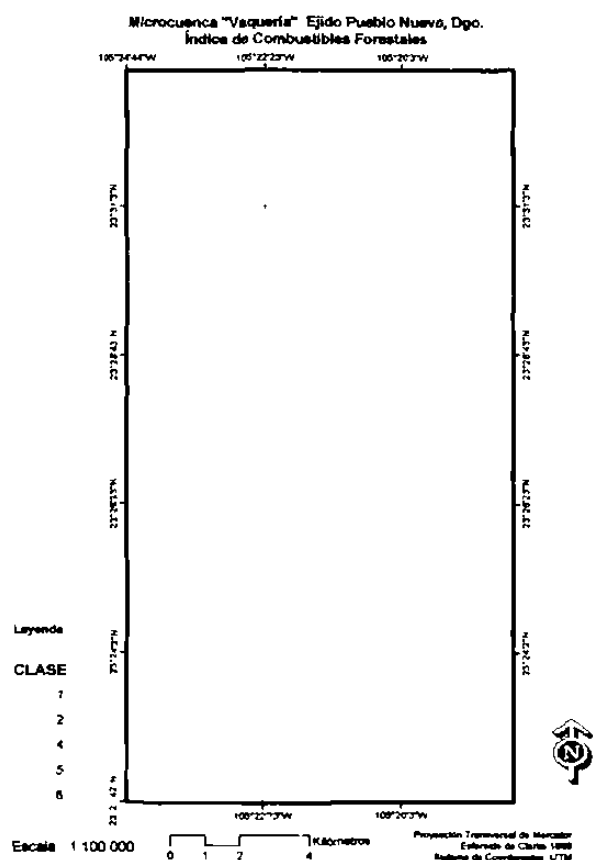


Figura 28. Modelo del índice de combustibles de la microcuenca Vaquería del ejido Pueblo Nuevo, Dgo.

4.4.3 Índice de Causales

Se generaron cinco modelos de causas de incendios forestales, siendo estos: cercanía a poblados, cercanía a caminos, cercanía a las áreas agrícolas, áreas de corta y cercanía a la barranca. De la matriz de comparaciones apareadas de la EMC (ver Cuadro 9) se generaron los valores ponderados para desarrollar el índice de causales, mismos que se presentan en el Cuadro 17.

Cuadro 17. Valores ponderados para determinar el índice de causales.

Actividad humana	Valor del índice de causales
Cercanía a poblados	0.088
Área corta año 8	0.139
Agricultura	0.270
Cercanía a caminos	0.251
Barranca	0.251
Índice de consistencia de 0.06	

Con estos valores ponderados donde resulta con el mayor peso las actividades agrícolas, se construyó el modelo de índice de causales, cuyo mapa fue reclasificado de acuerdo con el rango de valores 1 – 6 (Figura 29).

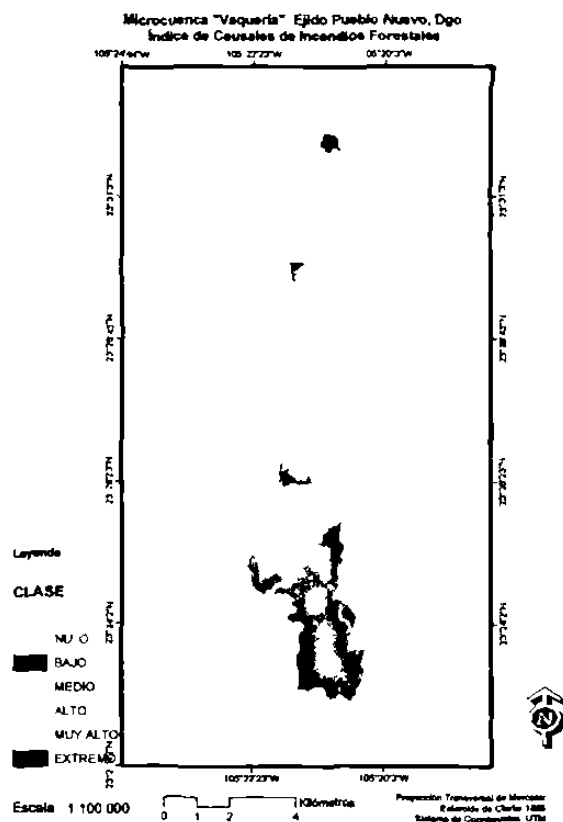


Figura 29. Modelo del índice de causales de incendios forestales en la microcuenca Vaquería del ejido Pueblo Nuevo, Dgo.

4.4.4 Índice de peligro de incendios (IPI)

Con el procesamiento de la matriz de comparaciones por pares de la EMC (ver Cuadro 10) se generaron los valores ponderados para desarrollar el índice de peligro de incendios forestales, donde el mayor valor fue asignado al índice meteorológico, contribuyendo con la mitad del IPI, como se muestra en el Cuadro 18. Se ponderó igual a los índices de combustibles y de causales.

Cuadro 18. Valores ponderados para determinar el índice de peligro de incendios forestales.

Indices	Valor ponderado del índice de peligro
Índice Meteorológico	0.500
Índice de Combustibles	0.250
Índice de Causales	0.250
Índice de consistencia de 0.01	

Como resultado de esta ponderación, se tiene que el orden jerárquico de los criterios para la construcción de los 12 modelos mensuales del IPI y corresponde en primer lugar al índice meteorológico, seguido del índice de combustibles y el índice de causales, como se indica en el Cuadro 19. Se elaboraron los 12 modelos del índice de peligro de incendios forestales, uno para cada mes, y cuyos máximos valores se presentan en el Cuadro 20 y Figura 30.

Cuadro 19. Orden jerárquico de los índices para determinar el índice de peligro de incendios forestales.

Índices	Orden
Índice de meteorológico	Primero
Índice de causales	Segundo
Índice de combustibles	Tercero

Se aprecia que durante los meses de febrero a mayo se presentan los máximos valores de IPI, justamente el periodo de estiaje y por ende de mayor peligro de incendios forestales. Con el inicio de la temporada de lluvias en junio, el IPI baja hasta encontrar su valor mínimo en el mes de julio, pero con duración hasta septiembre. Durante los meses de octubre a enero el IPI se mantiene en 4.5, periodo intermedio que es propicio para la aplicación de quemas controladas.

Cuadro 20. Valores máximos mensuales del índice de peligro de incendios forestales.

MES	Valor máximo de IPI
Enero	4.50
Febrero	5.00
Marzo	5.00
Abril	5.00
Mayo	5.00
Junio	4.00
Julio	3.50
Agosto	3.75
Septiembre	3.75
Octubre	4.50
Noviembre	4.50
Diciembre	4.25

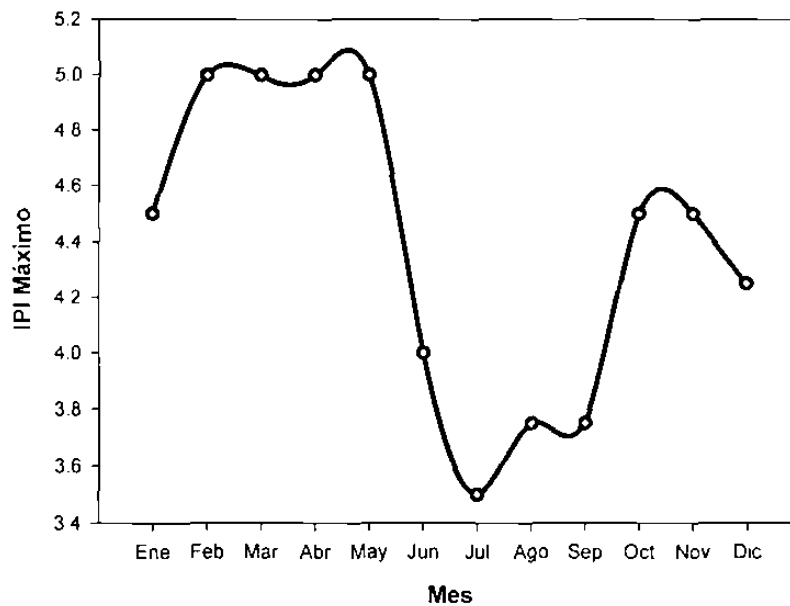


Figura 30. Valores máximos mensuales del índice de peligro de incendios forestales.

Los modelos fueron clasificados en seis clases de peligro de incendios, atendiendo al rango de los valores mensuales, como se indica: 1 Muy Bajo, 2 Bajo, 3 Medio, 4 Alto, 5 Muy Alto y 6 Extremo.

A manera de ejemplo, en la Figura 31 se presenta el mapa de IPI correspondiente al mes de mayo, con grados de peligro de incendios de medio a muy alto. Este mes es donde el grado alto ocupa la mayor distribución en el área de estudio. Los modelos mensuales de IPI se presentan en el Apéndice C.

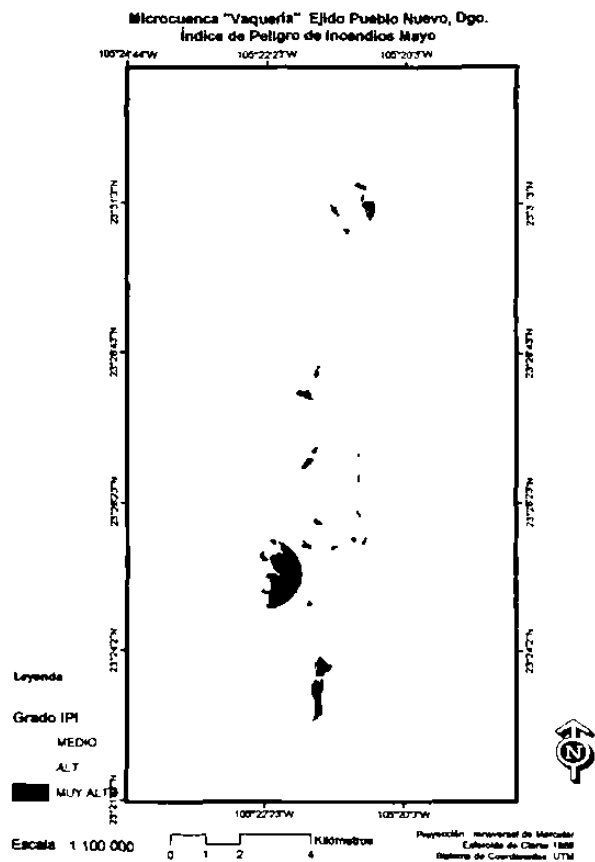


Figura 31. Modelo del Índice de peligro de incendios forestales (IPI) de la microcuenca Vaquería del ejido Pueblo Nuevo, Dgo., correspondiente al mes de mayo.

Es importante mencionar que se requiere validar el modelo de IPI mensual a nivel campo previo a su implementación, contrastándolo con las áreas afectadas por incendios de manera recurrente, de acuerdo con el historial de afectaciones del ejido.

4.5 Plan de manejo de combustibles forestales (PMC)

4.5.1 Prácticas de apilado, cuartazal o triturado

Esta práctica está dirigida preferentemente hacia aquellas áreas de pendiente menor a 30%, donde se han aplicado tratamientos de aclareos, cortas de regeneración y cortas de liberación. La práctica que normalmente se realiza durante todo el año en la limpia es el cuartazal, aunque también es posible realizar la práctica de triturado y esparcido de partículas. En el programa ArcMap™ se aplicó el siguiente criterio y cuyo modelo resultante se presenta en la Figura 32:

(tratamiento=acl + tratamiento=cr+tratamiento=cl) and (pendiente < 3)

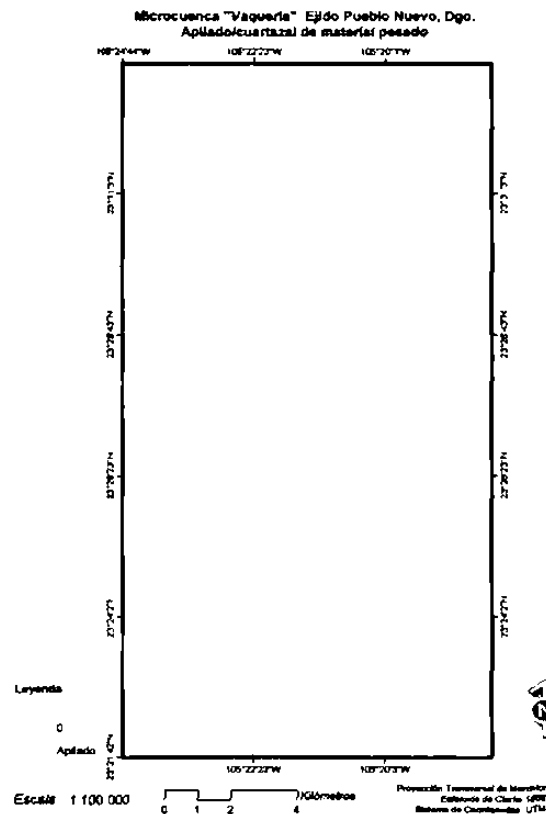


Figura 32. Modelo de áreas seleccionadas para aplicar la práctica de apilado de combustibles forestales en la microcuenca Vaquería del ejido Pueblo Nuevo, Dgo.

4.5.2 Prácticas de acordonamiento

Esta práctica está dirigida hacia aquellas áreas de pendiente mayor a 30%, donde la normatividad en materia forestal indica el tratamiento de selección. Los cordones de material se ubican en contra de la pendiente, con el propósito de detener el arrastre de suelo. En el programa ArcMap™ se aplicó el siguiente criterio y cuyo modelo resultante se presenta en la Figura 33:

(tratamiento=selc + tratamiento=self+tratamiento=selp) and (pendiente > 3)

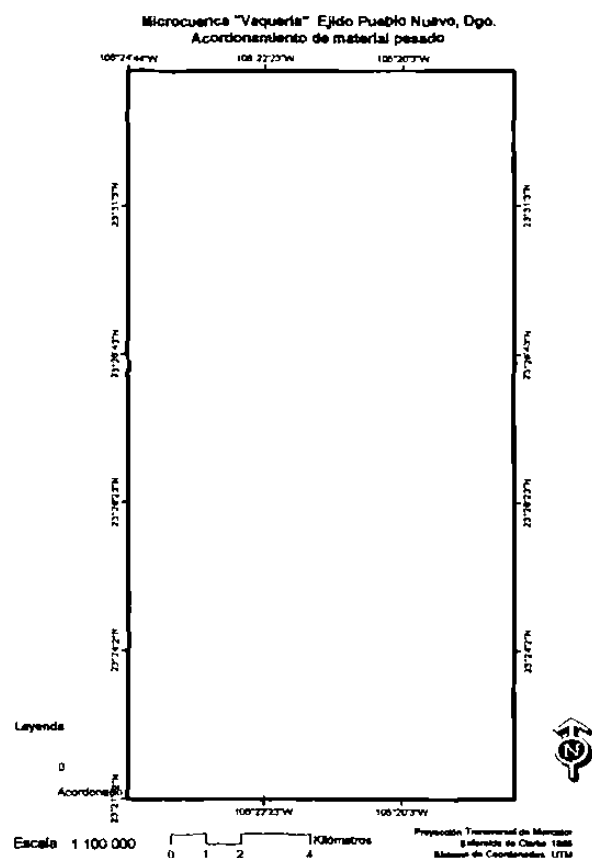


Figura 33. Modelo de áreas seleccionadas para aplicar la práctica de acordonamiento de combustibles forestales en la microcuencia Vaquería del ejido Pueblo Nuevo, Dgo.

4.5.3 Aplicación de quema controlada a material apilado

Esta práctica está orientada hacia aquellas áreas de pendiente menor a 30%, con tratamientos de aclareos y cortas de regeneración o liberación y donde se ha realizado previamente el apilado de material, y también se ha incluido el componente del IPI moderado. En el programa ArcMap™ se aplicó el siguiente criterio y cuyo modelo resultante para el mes de diciembre se presenta en la Figura 34:

(tratamiento=acl + tratamiento=cr+tratamiento=cl) and (pendiente < 3) and
(ipi enero =1 or ipi enero =2 or ipi enero =3)

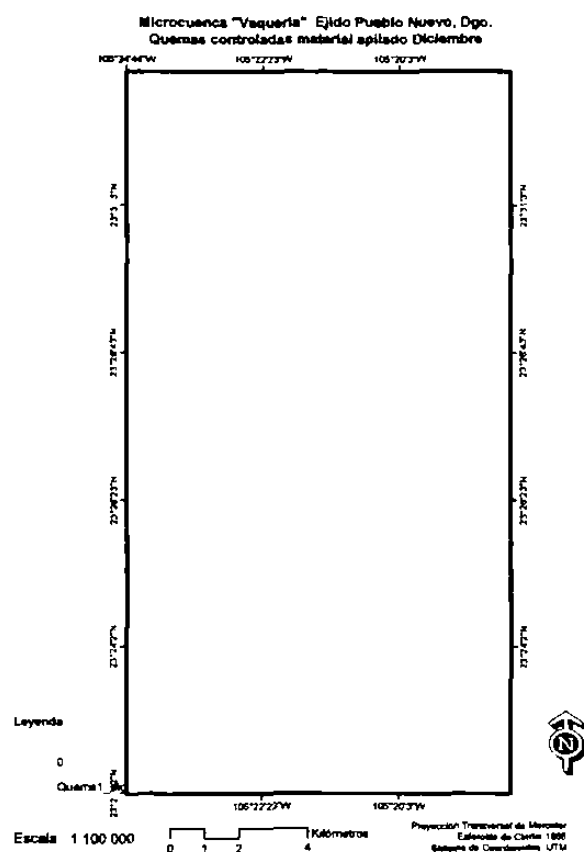


Figura 34. Modelo de áreas seleccionadas para aplicar quemas controladas a material apilado en la microcuenca Vaquería del ejido Pueblo Nuevo, Dgo.

4.5.4 Aplicación de quema controlada a hojarasca en pendiente e IPI moderados

Esta práctica fue orientada hacia aquellas áreas con pendiente menor a 30%, con tratamiento de aclareo, cortas de regeneración o liberación y donde se ha incluido el componente del IPI moderado. La aplicación de este tratamiento se recomienda realizarlo durante el periodo de menos peligro de incendios forestales, es decir, en los meses de noviembre a enero, y en áreas donde ya se ha establecido la regeneración. En ArcMap™ se aplicó el siguiente criterio:

(tratamiento=acl + tratamiento=cr+tratamiento=cl) and (pendiente < 3) and
(ipi enero =1 or ipi enero =2 or ipi enero =3)

Para el caso de áreas con tratamiento de selección se tiene una segunda modalidad, el criterio fue como se indica, y cuyo modelo resultante para el mes de enero se presenta en la Figura 35:

(tratamiento=selc + tratamiento=self+tratamiento=selp) and (pendiente > 3) and
(ipi enero =1 or ipi enero =2 or ipi enero =3)

El Cuadro 21 muestra el PMC recomendado para el área de estudio, y resultado del análisis de los diferentes modelos. Se puede destacar que las prácticas de apilado o cuartazal y acordonamiento son complementarias a la cosecha por lo que están programadas de acuerdo con el periodo de corta, de octubre a junio, con un tiempo de receso debido a la temporada de lluvias, en que las actividades de aprovechamiento prácticamente se paralizan en los meses de julio a septiembre.

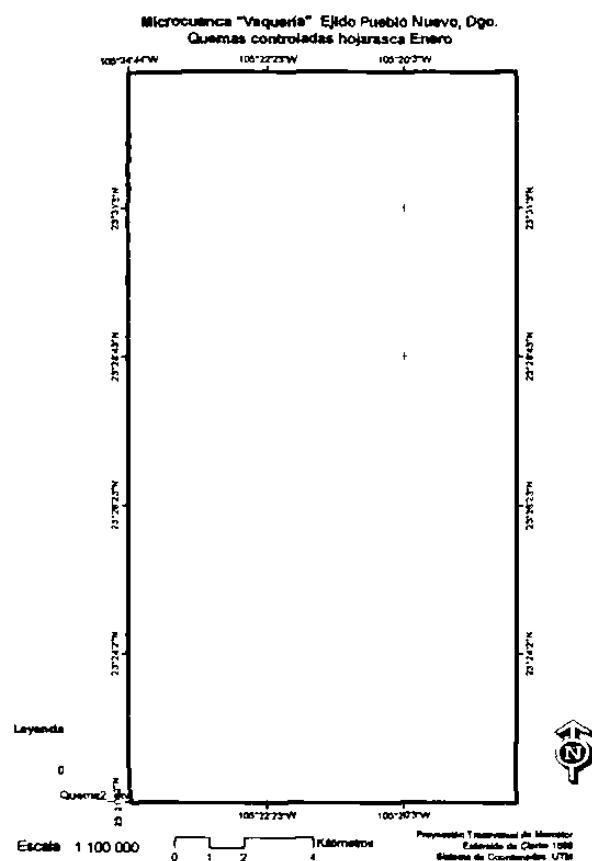


Figura 35. Modelo de áreas seleccionadas para aplicar quemas controladas a hojarasca durante el mes de enero en la microcuenca Vaquería del ejido Pueblo Nuevo, Dgo.

Aún cuando la aplicación de quemas controladas puede tener diversos objetivos, en el presente trabajo esta práctica es recomendada para disminuir las cargas de combustibles forestales a niveles en que no representen peligro de incendios. Deben realizarse atendiendo la normatividad respectiva y durante los meses de noviembre a febrero, en que las condiciones meteorológicas son favorables (Rentería, 1997; SEMARNAP, 1999). Se consideran tres modalidades, una para material apilado y dos para hojarasca, en condiciones de poca pendiente y pendiente fuerte. Se considera también la construcción y mantenimiento de

brechas cortafuego, como una actividad preventiva complementaria al manejo de combustibles forestales, a realizarse antes y durante la temporada de incendios.

Cuadro 21. Plan de manejo de combustibles forestales en la microcuenca Vaquería del ejido Pueblo Nuevo, Dgo.

PRÁCTICA	MESES											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1 Apilado/cuartazal	X	X	X	X	X	X				X	X	X
2 Acordonamiento	X	X	X	X	X	X				X	X	X
3 Quema 1. Material apilado	X	X									X	X
4 Quema 2. Hojarasca, modalidad 1	X	X									X	X
5 Quema 2. Hojarasca, modalidad 2	X	X									X	X
6 Construcción y mantenimiento de brechas		X	X	X	X							

Las metodologías y prácticas aquí recomendadas para el área de estudio son aplicables para todo el predio, previa validación y con las adecuaciones a que haya lugar y atendiendo en todo momento las leyes y normas en materia forestal.

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES

5.1 Hojarasca

Existe un incremento en la acumulación de hojarasca, ésta se observa en las mejores condiciones de productividad a partir de la cosecha, alcanzando su nivel máximo en el año cuatro, confirmando la hipótesis respectiva. Las mayores concentraciones de combustibles se presentan en el tratamiento de selección, en aquellas áreas con mayor pendiente, calidad de estación III y exposición Sur. Por otro lado, ya que la hojarasca alcanza su máximo nivel preferentemente en áreas con tratamiento de selección, la profundidad de ésta guarda esa tendencia, presentando los mayores espesores en pendientes más pronunciadas y de productividad media.

5.2 Combustibles leñosos

Existe un incremento en la acumulación de combustible total a partir de la cosecha, alcanzando su nivel máximo al año tres, rechazando la hipótesis

planteada. Dicha tendencia se revierte hasta alcanzar un mínimo a la mitad del ciclo de corta de 10 años, donde se inicia un nuevo incremento.

Las mayores concentraciones de combustibles se presentan en los tratamientos de cortas de regeneración y aclareos, es decir, en aquellas áreas con mejores condiciones de productividad y menos pendiente, confirmando la hipótesis nula.

Derivado de lo anterior, se recomienda encausar los esfuerzos de prevención cultural y de ingeniería, hacia aquellas áreas con las mayores cargas de combustibles ya que representan el mayor peligro potencial de incendios.

5.3 Índice de peligro de incendios

5.3.1 Índice Meteorológico

Los mayores valores corresponden al periodo de febrero a mayo, precisamente los meses de menor precipitación y mayor temperatura y consecuentemente, de mayor peligro para la presencia de incendios forestales. De manera alternativa, los valores menores de este índice meteorológico coinciden con la temporada de lluvias, en los meses de julio a septiembre. Se generaron los mapas mensuales correspondientes.

5.3.2 Índice de Combustibles

En el presente estudio se ponderó con los mayores valores para hojarasca, combustibles ligeros y espesor de hojarasca, siendo éstos los que más contribuyen en la definición del peligro de incendios forestales. Los combustibles pesados resultaron con la contribución menor.

5.3.3 Índice de Causales

Las quemas agrícolas resultaron con el mayor valor en la definición del índice de causales de incendios forestales, seguida por la cercanía a caminos y a la barranca. La presencia humana en las áreas de corta, fue valorada como penúltima y al final los asentamientos humanos. El uso del fuego sin atender la normatividad respectiva, representa entonces el mayor peligro para la presencia de incendios forestales.

5.3.4 Índice de Peligro de Incendios

Mediante el uso de herramientas como los SIG y la EMC fue posible establecer la interacción de factores medioambientales y antropogénicos para determinar IPI mensuales para el área de estudio, confirmando la hipótesis nula 3. Durante los meses de sequía de febrero a mayo se presentan los máximos grados de IPI, y por ende de mayor peligro de incendios forestales, con grados de peligrosidad de medio, alto y muy alto. En la temporada de lluvias a partir de junio,

el IPI baja hasta encontrar su valor mínimo en el mes de julio. El IPI resultó altamente influenciado por el índice meteorológico, mismo que contribuye con la mitad de su valor, de acuerdo con la ponderación respectiva. Se generaron los modelos mensuales correspondientes.

5.4 Plan de manejo de combustibles

Como una contribución técnico-científica del presente trabajo, mediante la incorporación del IPI mensual en el análisis de tratamientos silvícolas y el modelo de pendientes, se elaboró el PMC para el área de estudio, confirmando la hipótesis nula 4. Este PMC resulta en la recomendación de prácticas de apilado de material en terrenos de baja pendiente, acordonamiento en pendientes fuertes con tratamientos de selección y la aplicación de quemas controladas para las diferentes condiciones de pendiente y tratamientos. El PMC es factible de extrapolarse a todo el ejido e incorporarse al plan de manejo forestal actualmente en ejecución.

CAPÍTULO 6

LITERATURA CITADA

- ALANÍS M., H. E. y OROZCO F. 2000. Índice de riesgo de incendios en la región central del macizo boscoso de Chihuahua. Folleto Técnico No. 11. Campo Experimental Madera, CIRNOC, INIFAP. Chihuahua, Méx. 22 p.
- ALVARADO C., E. 1986. Comportamiento del fuego en rodales poco perturbados de *Pinus montezumae* Lamb. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Programa Forestal. Montecillos, Méx. 113 p.
- ARNO S., F. 2000. Wildland fire in ecosystems: effects of fire on flora. Chapter 5: Fire in western forest ecosystems. USDA Forest Service. Gen Tech. Rep. RMRS-GTR 42 (2): 97-120.
- BENAVIDES S., J. de D. y FLORES G., J. G. 1993. Áreas con diferente riesgo de incendio forestal. *In: Primer Foro Nacional sobre Manejo Integral Forestal*. Memoria. DICIFO, UACH, Chapingo, Méx. pp. 376-386.
- BROWN J., K. 1974. Handbook for inventoring downed woody material. USDA Forest Service. General Technical Report INT-16. Utah, USA. 24p.
- BROWN J., K.; OBERHEU, R. D. and JOHNSTON, C. M. 1982. Handbook for inventoring surface fuels and biomass in the Interior West. USDA Forest Service. General Technical Report INT-129.

- BURROUGH P., A. 1986. Principles of geographical information systems for land resources assessment. Clarendon Press, Oxford. 193 p.
- CAMPOS A., D. F. 1992. Procesos del ciclo hidrológico. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Editorial Universitaria Potosina. Segunda Reimpresión. p. 3-34.
- CONAFOR. 2004. Reporte semanal de incendios forestales. http://www.conafor.gob.mx/programas_nacionales_forestales/incendios/pdf/reporte.pdf
- DANIEL, T. W.; J. A HELMS and F. S. BACKER. 1982. Principios de silvicultura. Traducción de Ramón Elizondo Mata. México, McGraw Hill. 191 p.
- DeMERS M., N. 1997. A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. Remote Sensing of Environment 37:35-46.
- ENCARTA. 2002. Biblioteca de Consulta 2002 © 1993-2001 Microsoft Corporation. Reservados todos los derechos.
- FARROW A. and WINOGRAD M. 2001. Land use modeling at the regional scale: an input to rural sustainability indicators for Central America. Agriculture, Ecosystems and Environment. 85(1-3): 249-268.
- FLORES G., J. G. y BENAVIDES S., J. de D. 1990. Condiciones que influyen en el riesgo y peligrosidad de los incendios forestales. CFC-CIFAC-INIFAP. Guadalajara, Jal.
- FLORES-GARNICA J. G. and OMI P., N. 2003. Mapping forest fuels for spatial fire behavior simulations using geomatic strategies: mapeo de combustibles forestales para simulaciones del comportamiento espacial del fuego usando estrategias de geomática. Agrociencia. 37: 65-72.

- FOURNIER R., A.; GUINDON L.; BERNIER P., Y.; UNG C., H.; RAULIER F. and HALL R., J. 2000. Spatial implementation of models in forestry. *Forestry Chronicle*. 76(6): 929-940.
- GARCÍA E. 1973. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. UNAM. México. 252 p.
- GONZÁLEZ M., R. G. 2003. Alternativas de manejo forestal mediante el desarrollo de conocimiento específico de sitio. Tesis de Doctorado en Ciencias. Facultad de Ciencias Forestales, UANL. Linares, N. L. 109 p.
- GORDILLO S., M^a del C. 1992. Curso teórico-práctico sobre sistemas de información geográfica. SIGSA, División Capacitación. 67 p.
- GUISAN A. and ZIMMERMANN N., E. 2000. Predictive habitat distribution models in ecology. *Ecological Modelling*. 135(2-3): 147-186.
- HILLIER F., S. y LIEBERMAN G., J. 2002. Introducción a la investigación de operaciones. Mc Graw-Hill. 6^a ed. 955 p.
- INEGI. 2003. Anuario estadístico del Estado de Durango, Edición 2003. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática y Gobierno del Estado de Durango. Aguascalientes, Ags. 491 p.
- ISLAS G., F. 1998. Introducción a los sistemas de información geográfica. INIFAP. Durango, Mex.
- JENSEN J., R. 1996. Introductory digital image processing: a remote sensing prespective. 2nd Edition. Prentice-Hall, New Jersey. 316 p.
- KEANE R., E.; RYAN, K., C.; VEBLEN, T., T.; ALLEN, C., D.; LOGAN, J. and HAWKES, B. 2002. Cascading effects of fire exclusion in Rocky Mountain ecosystems: a literature review. USDA Forest Service. RMRS-GTR 91. 32p.

- MAGAÑA T., O. S. 1983. Determinación de un índice de peligro de incendios forestales para el Municipio de Tlahuapan, Pue. Tesis Profesional. División de Ciencias Forestales, UACH. Chapingo, Méx.
- MAGAÑA T., O. S. 1985. Índices de peligro de incendios forestales. Boletín Divulgativo No. 69. INIF, SARH. 15 p.
- MALCZEWSKI J. 1999. GIS and multicriteria decision analysis. University of Western Ontario. John Wiley and Sons, Inc. 392 p.
- MARMOLEJO M., J. G. y GARZA O., F. 2003. Estimación de la degradación de hojarasca en tres especies de pinos en Nuevo León, México. *In VI Congreso Mexicano de Recursos Forestales. Resumen en Memoria.* Sociedad Mexicana de Recursos Forestales. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. pp. 127-128.
- MARTÍNEZ M., A.; FLORES G., J. G. y BENAVIDES S., J. de D. 1990. Índices de riesgo de incendios forestales en la Sierra de Tapalpa, estado de Jalisco. *Ciencia Forestal en México.* 15(67): 3-34.
- MARTÍNEZ R., J. J. 2002. *Introducción a la percepción remota y a los sistemas de información geográfica.* Facultad de Agricultura y Zootecnia, UJED/CONACYT. Durango, Mex. 109 p.
- McMAHON CH., K. 1983. Characteristics of forest fuels, fires and emissions. USDA Forest Service. Dry Branch. Atlanta, Georgia. 24 p.
- MELGAR J. 1986. Estimación de riesgo de incendio en zonas forestales con base a variables físicas. Tesis Profesional. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Mich. 112 p. Citado por Rodríguez, 1996.
- MENDOZA G., A. and MACOUN P., with PRABHU R.; SUKADRI D., HERRY PURNOMO H. and HARTANTO H. 1999. Guidelines for applying multi-

- criteria análisis to the assessment of criteria and indicators. C & I Tool No 9. The Criteria and Indicators Toolbox Series. CIFOR. Indonesia. 82 p.
- MERAZ A, R. 1998. Programa de manejo forestal para el ciclo de corta 1997-2007. Servicios Técnicos Forestales del Ejido Forestal Pueblo Nuevo. 215 p.
- MUÑOZ R., C. A. y TREVIÑO G., E. J. 2000. Evaluación de combustibles forestales a través de índices de vegetación y ortofotos; aplicación en computadora personal. *In*. IX Simposio Latinoamericano de Percepción Remota. Puerto Iguazú, Misiones, Argentina. Memorias y CD. pp. 343-352.
- MUÑOZ R., C. A. 2001. Elaboración de un modelo espacial de peligro de incendios forestales. Tesis de Maestría en Ciencias Forestales. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma de Nuevo León. 94 p
- MUÑOZ R., C. A.; NUÑEZ L., D.; RENTERÍA A., J. B. y TREVIÑO G., E. J. 2003. Evaluación de combustibles forestales en el ejido Pueblo Nuevo, Dgo. *In* VI Congreso Mexicano de Recursos Forestales. Resumen en Memoria. Sociedad Mexicana de Recursos Forestales. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. . pp. 215-216.
- PAYSEN T., E.; ANSLEY R., J.; BROWN J., K.; GOTTFRIED G., J.; HAASE S., M.; HARRINGTON M., G.; NAROG M., G.; SACKETT S., S. and WILSON R., C. 2000. Wildland fire in ecosystems: effects of fire on flora. Chapter 6: Fire in western shrubland, woodland, and grassland ecosystems. USDA Forest Service Gen Tech. Rep. RMRS-GTR 42(2): 121-160.
- PEDERSEN H., B. and SKOV F. 2001. Mapping palm extractivism in Ecuador using pair-wise comparisons and bioclimatic modeling. *Economy Botany*. 55(1): 63-71.
- PENG C.,H. 2000. From static biogeographical model to dynamic global vegetation model: a global perspective on modelling vegetation dynamics. *Ecological Modelling*. 135(1): 33-54.

- RENTERÍA A., J. B. 1997. Prevención de combustibles forestales mediante la quema de los desperdicios forestales. Folleto para Productores Núm. 5. Campo Experimental "Valle del Guadiana", CIRNOC, INIFAP, SAGAR. 8 p.
- RENTERÍA A., J. B. y CORIA Q., J. L. 1998. Efecto de quemas controladas en la reducción de desperdicios forestales en Durango. Folleto Científico Núm. 4. Campo Exp. "Valle del Guadiana", CIRNOC, INIFAP, SAGAR. 24 p.
- RENTERÍA, A., J. B. y DOMÍNGUEZ, M., O. R. 1999. Incendios forestales en Durango de 1991 a 1999 y estrategias de prevención y supresión. *In*. IV Congreso Mexicano sobre Recursos Forestales. Memoria y CD. Sociedad Mexicana de Recursos Forestales e ISIMA-UJED. Durango, Dgo.
- RODRÍGUEZ T., D. A. 1994. La lucha contra el fuego; guía para la prevención, presupresión y supresión de incendios forestales. Universidad Autónoma Chapingo. Subsecretaría Forestal y de Fauna Silvestre, SARH. 171 p.
- RODRÍGUEZ T., D. A. 1996. Incendios forestales. Universidad Autónoma Chapingo. Multi-Prensa México, S.A de C.V. 630 p.
- ROY P., S.; SANJAY T. and TOMAR S. 2000. Biodiversity characterization at landscape level using geospatial modelling technique. *Biological Conservation*. 95(1): 95-109.
- 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. SFF. SARH. sp.
- SANTILLÁN P., J. 1993. Sistema para determinar indicadores de peligro de incendio forestal. Informe Técnico No. 14. Acuerdo de Cooperación en Materia Forestal entre México y Finlandia. México. 24 p.
- SCHMIDT K., M.; MENAKIS, J., P.; HARDY, C.,C.; HANN, W., J. and BUNNELL, D., L. 2002. Development of coarse-scale spatial data for wildland fire and

fuel management. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. Fort Collins, CO. Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-87. 41 p.

SEMARNAP. 1999. Norma Oficial Mexicana NOM-015-SEMARNAP/SAGAR-1997. Que regula el uso del fuego en terrenos forestales y agropecuarios. Diario Oficial de la Federación del 2 de marzo de 1999.

SEMARNAT. 2002. Introducción a ARC/VIEW 3.1. Dirección General de Estadística e Información Ambiental. Dirección de Geomática. 78 p.

SEMARNAT. 2003. Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable. Diario Oficial de la Federación del 25 de febrero de 2003.

SMARTWOOD PROGRAM. 2000. Resumen público de certificación ejido Pueblo Nuevo. Consejo Civil Mexicano para la Silvicultura Sostenible. 28 p.

SYKES M., T.; ANDERSSON B. (Ed.); ENGELMARK O. (Ed.); ROSVALL O. (Ed.) and SJOBERG K. 2001. Modelling the potential distribution and community dynamics of lodgepole pine (*Pinus contorta* Dougl. ex. Loud.) in Scandinavia. *Forestry Ecology and Management*. 141(1-2): 69-84.

TOLEDO M., R y SALAZAR L., A. 1994. Caracterización de incendios forestales en el estado de Michoacán. Folleto Técnico No. 29. CIPC Michoacán. INIFAP. 37 p.

TREVIÑO G., E. J.; JIMÉNEZ P., J. y AGUIRRE C., O. 2000. Evaluación de las superficies incendiadas en el sur Nuevo León susceptibles a restauración. *In*. IX Simposio Latinoamericano de Percepción Remota. Puerto Iguazú, Misiones, Argentina. Memorias y CD. pp. 353-362.

VEGA G., C.; WOODART P., M.; TITUS S., J.; ADAMOWICZ W., L. and LEE B., S. 1999. Dos modelos para la predicción de incendios forestales en

Whitecourt Forest, Canada. Investigación Agraria. Sistemas y Recursos Forestales. 8(1): 5-23.

WADE D., D.; BROCK B., L.; BROSE P., H.; GRACE J., B.; HOCH G., A. and PATTERSON III W., A. 2000. Wildland fire in ecosystems: effects of fire on flora. Chapter 4: Fire in eastern ecosystems. USDA Forest Service Gen Tech. Rep. RMRS-GTR 42(2): 53-96.

ZAPATA P., C. 1991. Determinación de indicadores de peligro potencial de incendios forestales con base en la cuantificación del material combustible. Seminario de Titulación. DICIFO, UACH. Chapingo, Méx.

APÉNDICES

APÉNDICE A

ECUACIONES UTILIZADAS PARA CONSTRUIR LOS MODELOS DE PRECIPITACIÓN TOTAL PROMEDIO MENSUAL Y TEMPERATURA MÁXIMA PROMEDIO MENSUAL.

APÉNDICE A

ECUACIONES UTILIZADAS PARA CONSTRUIR LOS MODELOS DE PRECIPITACIÓN TOTAL PROMEDIO MENSUAL

Mes	Ecuación para precipitación total promedio mensual
Enero	$(1070.41460924251) + ([Cx] * 0.0000334392693670419) + ([Cy] * -0.000426225003190387) + ([Mde] * 0.031732019908441)$
Febrero	$(683.563826210181) + ([Cx] * 0.00010516696494896) + ([Cy] * -0.000291037162561964) + ([Mde] * 0.0211291837849712)$
Marzo	$(448.393747525153) + ([Cx] * 0.0000401120261353665) + ([Cy] * -0.00018603010263963) + ([Mde] * 0.0147040696680124)$
Abril	$(407.077940774552) + ([Cx] * 0.0000312667982009215) + ([Cy] * -0.00016916160029546) + ([Mde] * 0.013976529838621)$
Mayo	$(665.703152981697) + ([Cx] * 0.000143956501351029) + ([Cy] * -0.000293198247874241) + ([Mde] * 0.0239281320901053)$
Junio	$(2143.47544139734) + ([Cx] * -0.0000580811317816301) + ([Cy] * -0.000811774979771537) + ([Mde] * 0.0545087742835146)$
Julio	$(3938.48284927859) + ([Cx] * -0.000238310024748565) + ([Cy] * -0.0014061358541732) + ([Mde] * 0.0303509493577035)$
Agosto	$(3675.2467357329) + ([Cx] * -0.000367966571222079) + ([Cy] * -0.00126046383971204) + ([Mde] * 0.00206636020206636)$
Septiembre	$(2797.42227884854) + ([Cx] * -0.000593758290597121) + ([Cy] * -0.000886737962970798) + ([Mde] * -0.0156711338009277)$
Octubre	$(1345.88067300252) + ([Cx] * 0.0000894913968747431) + ([Cy] * -0.000526562960970839) + ([Mde] * 0.0209191514403104)$
Noviembre	$(1117.37882868521) + ([Cx] * 0.0000866866861136727) + ([Cy] * -0.000452202701680893) + ([Mde] * 0.0262590336787121)$
Diciembre	$(3938.48284927859) + ([Cx] * -0.000238310024748565) + ([Cy] * -0.0014061358541732) + ([Mde] * 0.0303509493577035)$

Cx = Matriz de valores de latitud, Cy = Matriz de valores de longitud, Mde = Modelo de elevaciones (altitud)

APÉNDICE A

ECUACIONES UTILIZADAS PARA CONSTRUIR LOS MODELOS DE TEMPERATURA MÁXIMA PROMEDIO MENSUAL.

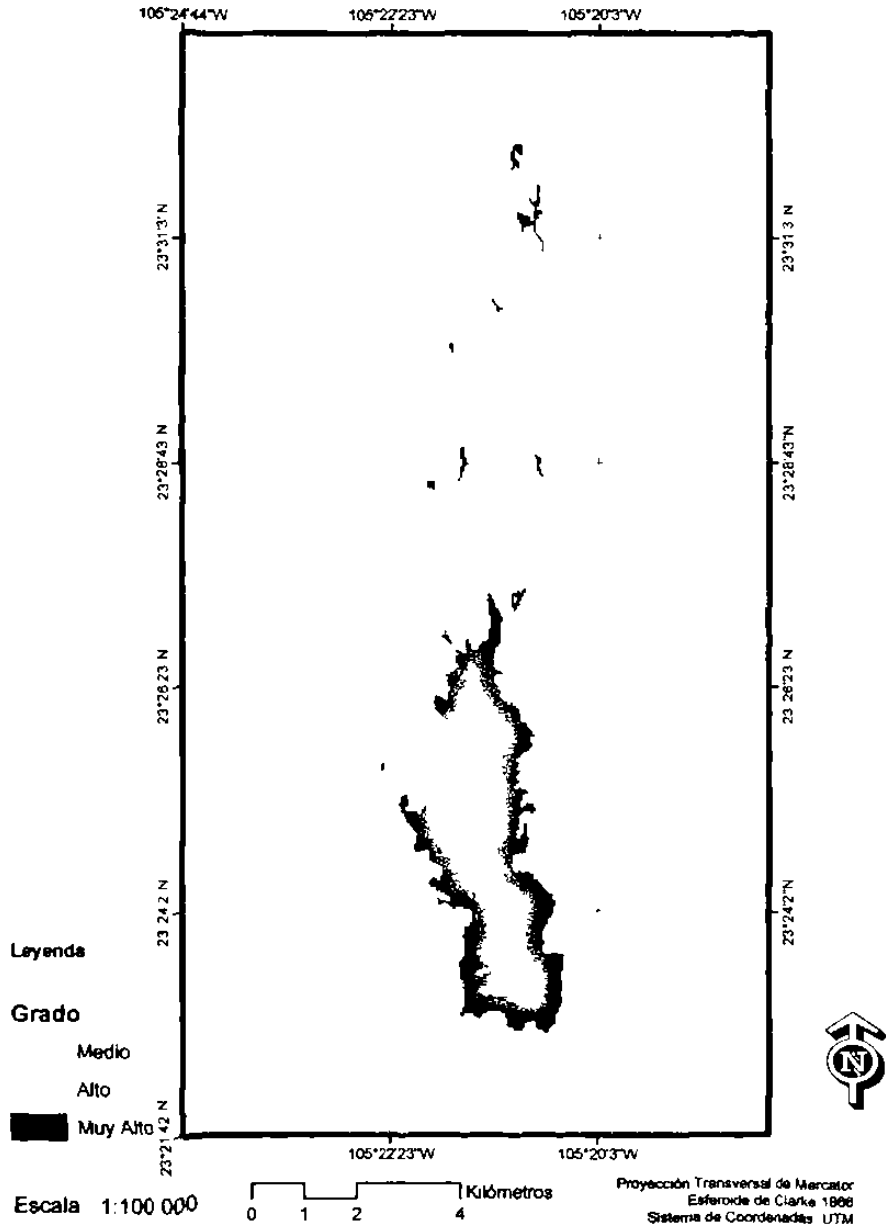
Mes	Ecuación para temperatura máxima promedio mensual
Enero	$(-44.207788659176) + ([Cx] * -0.0000296179834832462) + ([Cy] * 0.0000368840778921923) + ([Mde] * -0.00704171870712159)$
Febrero	$(-105.457092760352) + ([Cx] * -0.0000445083091294857) + ([Cy] * 0.0000648328205582811) + ([Mde] * -0.00864943383732177)$
Marzo	$(-125.685506834185) + ([Cx] * -0.0000361577996057589) + ([Cy] * 0.0000718199872374136) + ([Mde] * -0.00875742827514137)$
Abril	$(-130.38452778336) + ([Cx] * -0.0000269422272035419) + ([Cy] * 0.0000725554434486919) + ([Mde] * -0.00859717519783793)$
Mayo	$(-170.361143879063) + ([Cx] * -0.0000420871195153332) + ([Cy] * 0.0000917908358420904) + ([Mde] * -0.00909250431499956)$
Junio	$(-178.621599652027) + ([Cx] * -0.0000494244769563475) + ([Cy] * 0.0000967567788288984) + ([Mde] * -0.00951976494119917)$
Julio	$(-130.725953586656) + ([Cx] * -0.0000538623827777733) + ([Cy] * 0.0000778597366412483) + ([Mde] * -0.00898669822953712)$
Agosto	$(-115.470653522203) + ([Cx] * -0.0000496773078505537) + ([Cy] * 0.0000706220055595541) + ([Mde] * -0.00856246899698651)$
Septiembre	$(-103.511883337525) + ([Cx] * -0.0000496773078505537) + ([Cy] * 0.0000657117902260023) + ([Mde] * -0.00846381109412145)$
Octubre	$(-110.286516770574) + ([Cx] * -0.0000536189780832777) + ([Cy] * 0.0000691553318204241) + ([Mde] * -0.00865641682259249)$
Noviembre	$(-95.1222235667861) + ([Cx] * -0.0000490663631346461) + ([Cy] * 0.0000621208919554433) + ([Mde] * -0.00864284584685385)$
Diciembre	$(-83.694485817125) + ([Cx] * -0.0000505217092004418) + ([Cy] * 0.0000572725459160299) + ([Mde] * -0.00852168711300737)$

Cx = Matriz de valores de latitud Cy = Matriz de valores de longitud, Mde = Modelo de elevaciones (altitud)

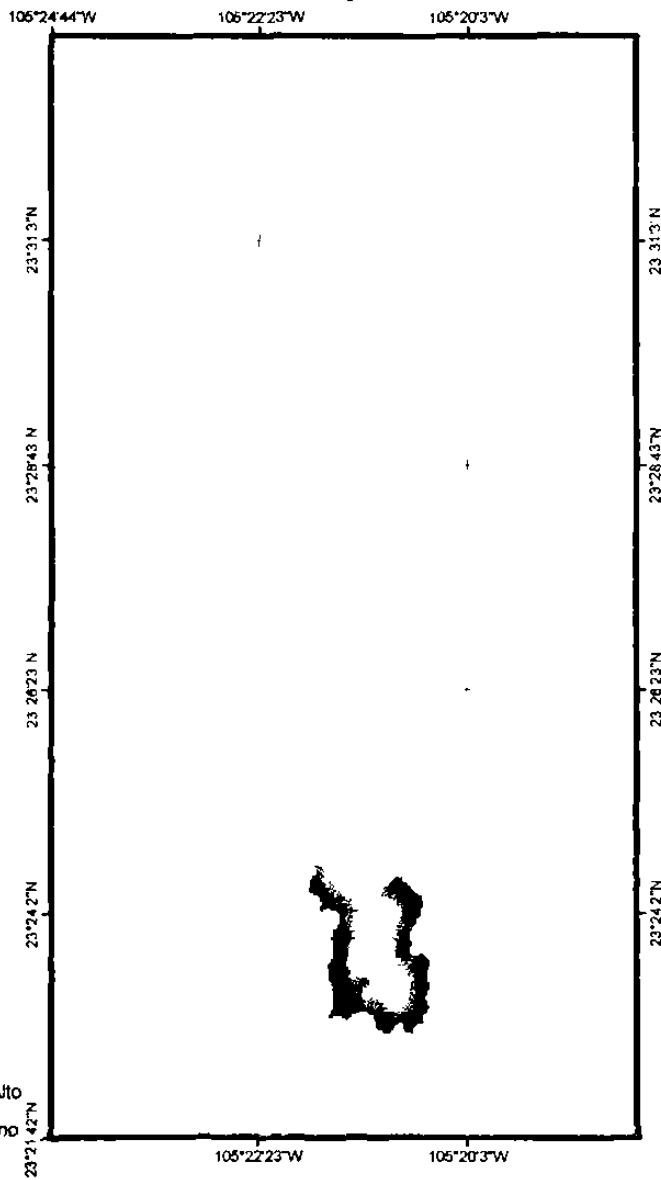
APÉNDICE B

MAPAS MENSUALES DEL ÍNDICE METEOROLÓGICO

Microcuenca "Vaquería" Ejido Pueblo Nuevo, Dgo. Índice Meteorológico Enero



Microcuenca "Vaquería" Ejido Pueblo Nuevo, Dgo. Índice Meteorológico Febrero



Leyenda

Grado

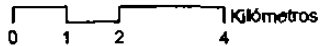
Alto

Muy Alto

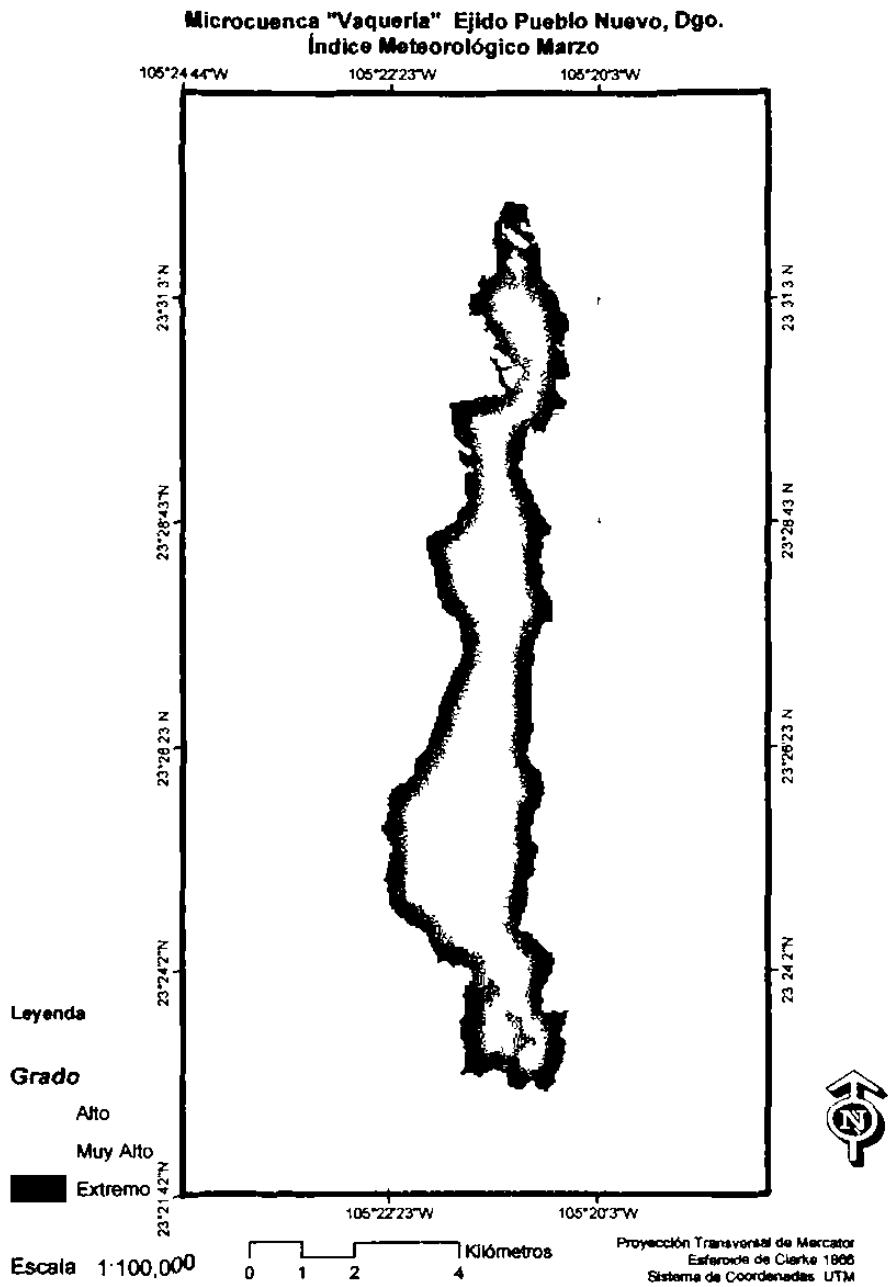
■ Extremo



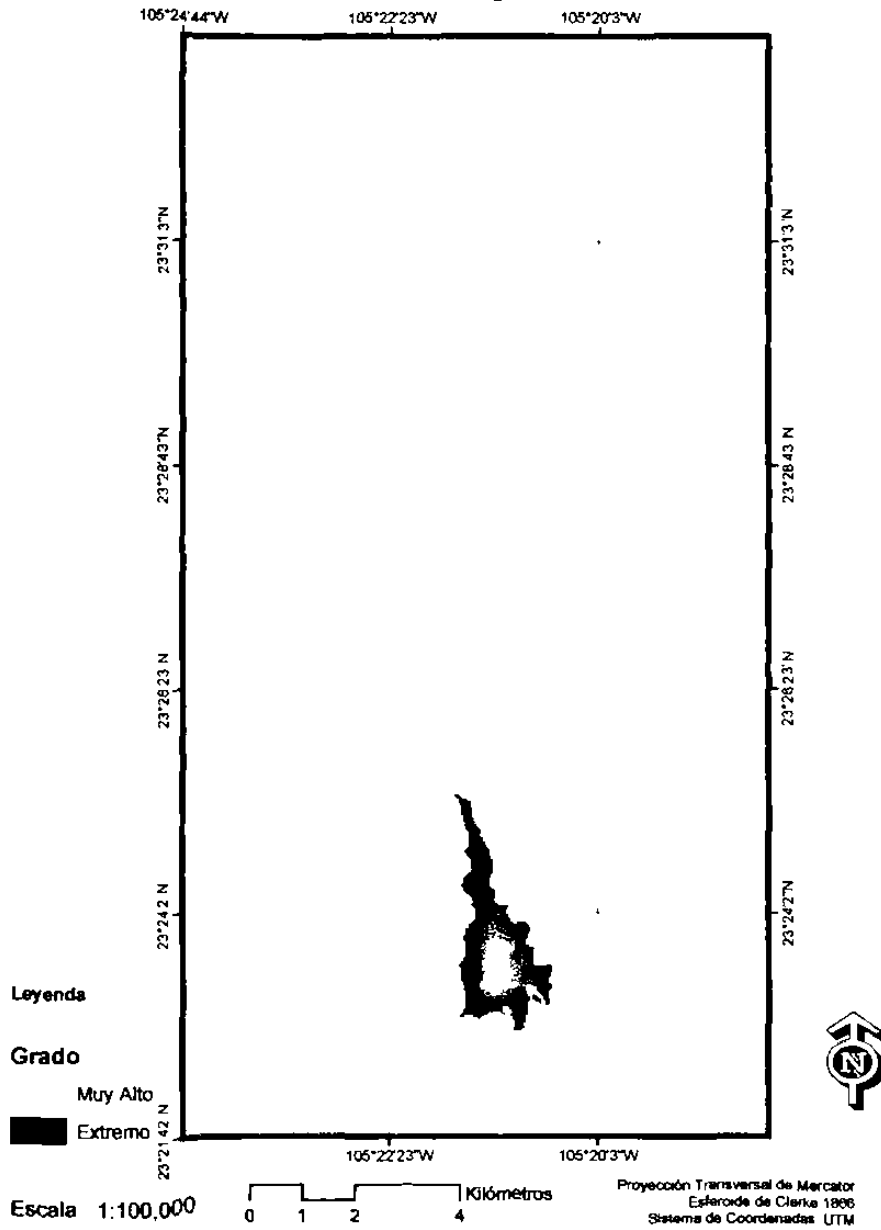
Escala 1:100,000



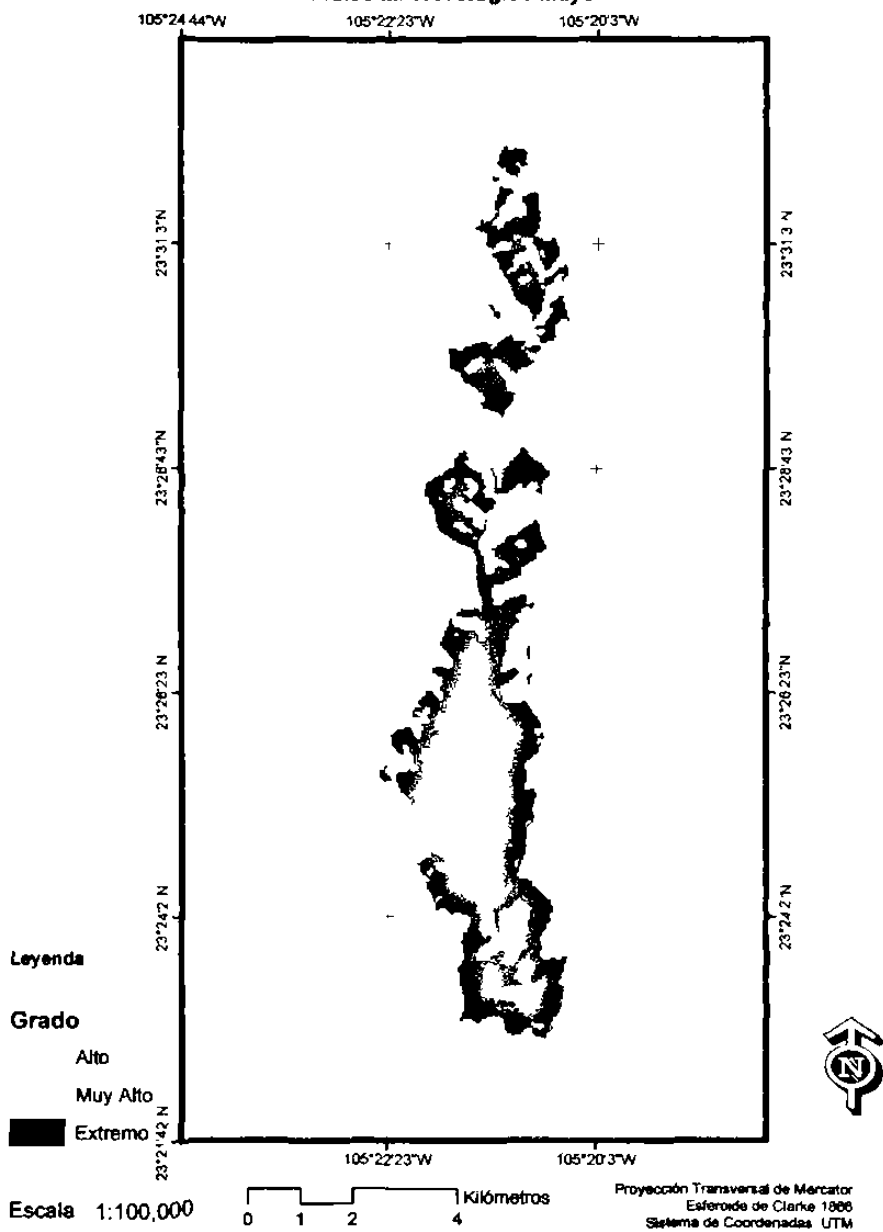
Proyección Transversal de Mercator
Esférico de Clarke 1866
Sistema de Coordenadas UTM



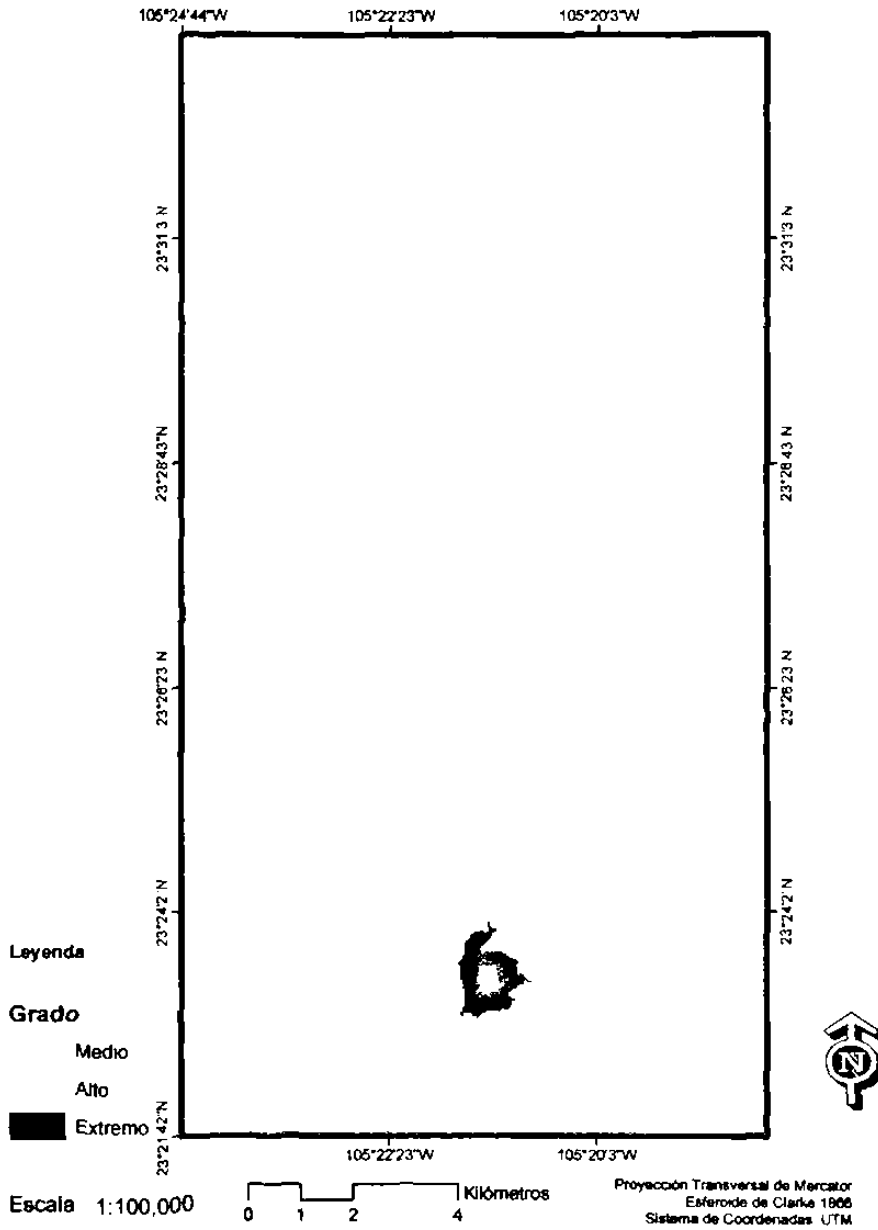
**Microcuenca "Vaquería" Ejido Pueblo Nuevo, Dgo.
Índice Meteorológico Abril**

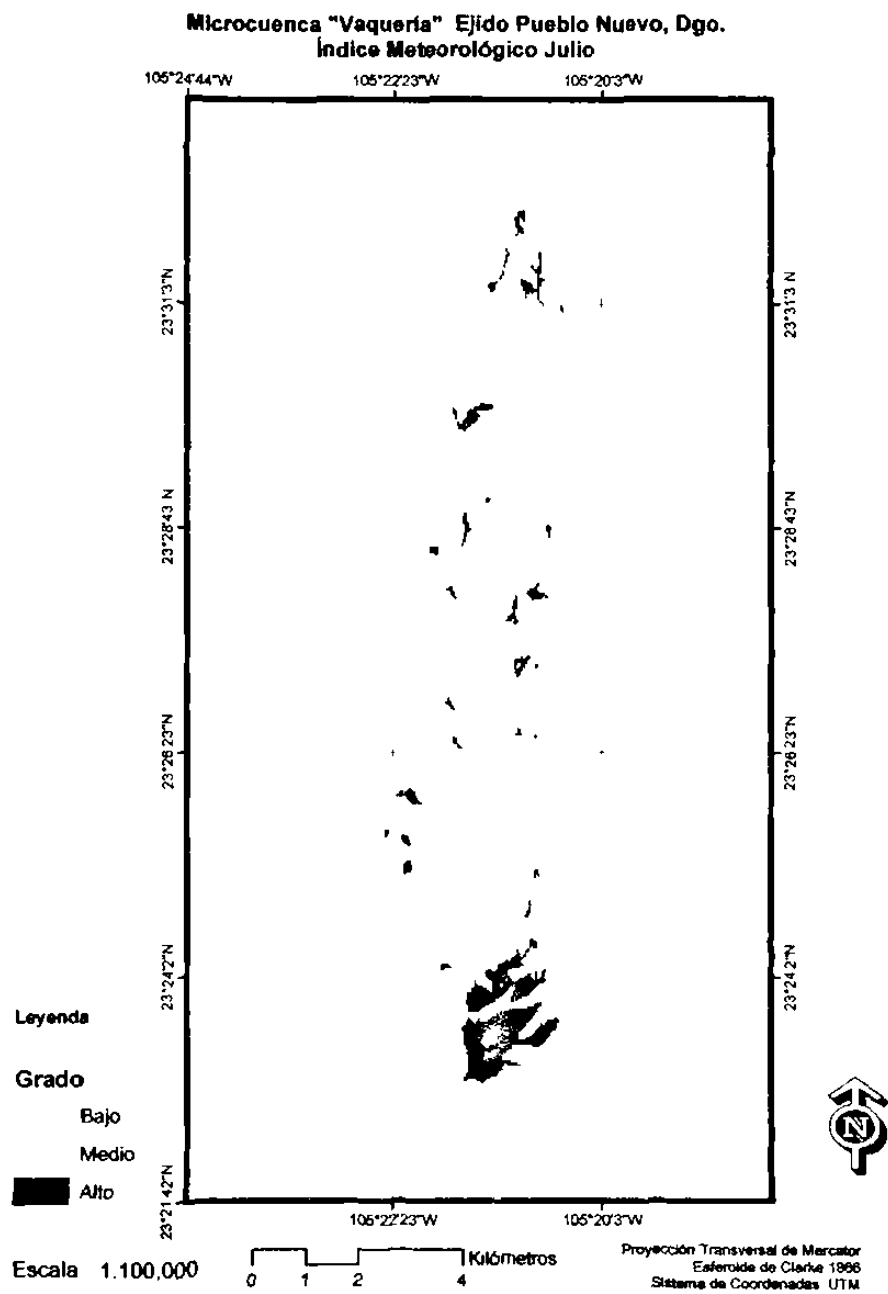


Microcuenca "Vaquería" Ejido Pueblo Nuevo, Dgo. Índice Meteorológico Mayo

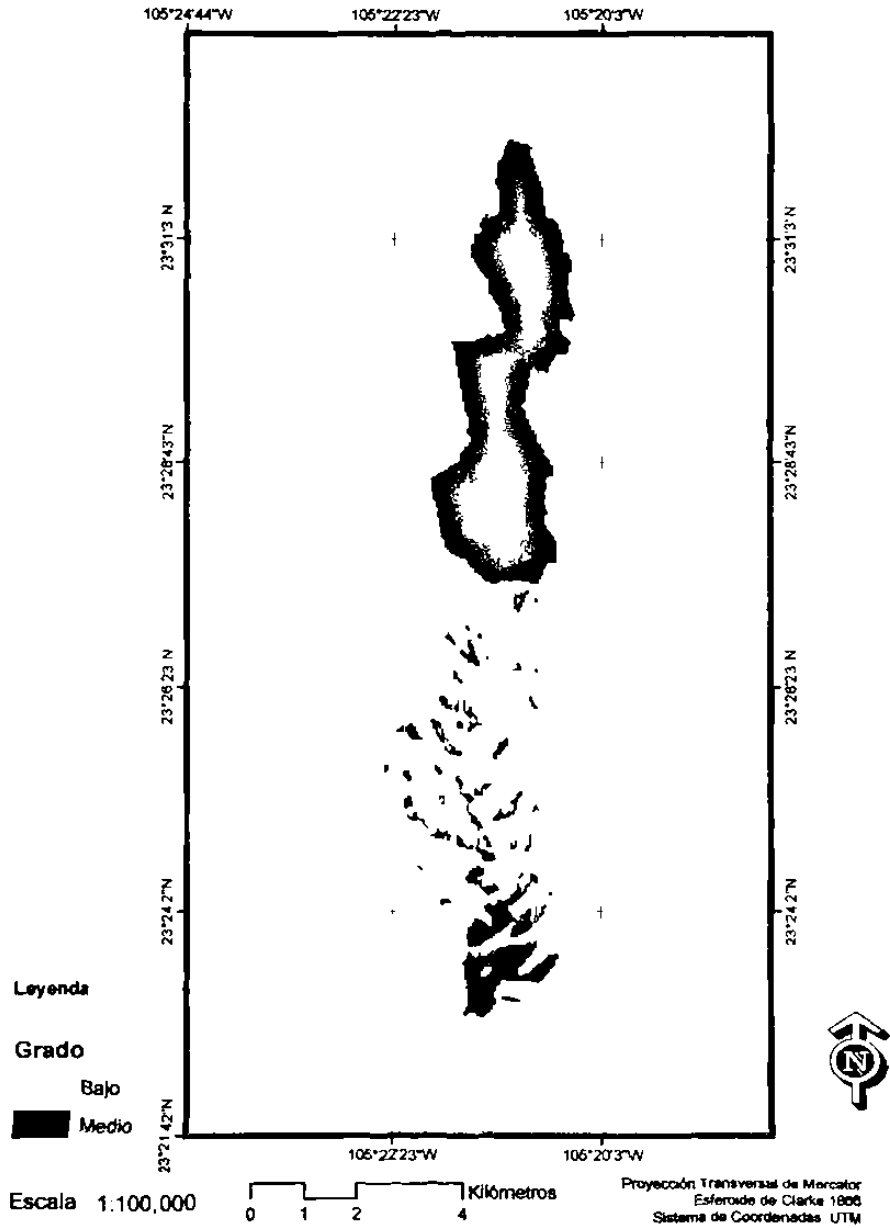


**Microcuenca "Vaquería" Ejido Pueblo Nuevo, Dgo.
Índice Meteorológico Junio**

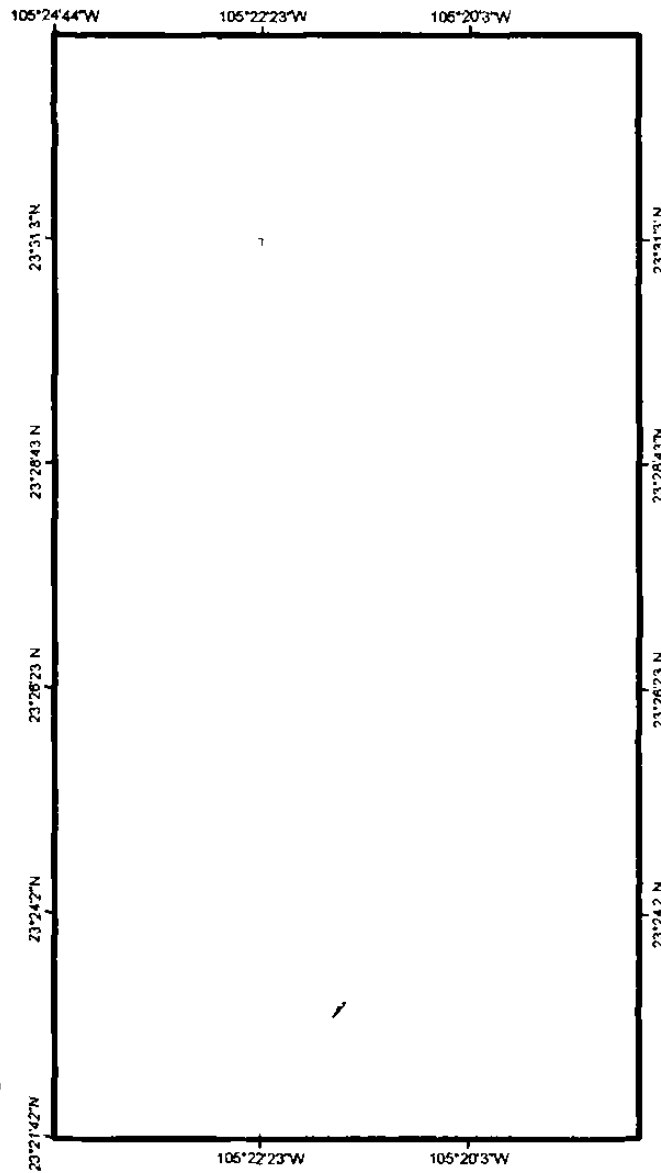




Microcuenca "Vaquería" Ejido Pueblo Nuevo, Dgo. Índice Meteorológico Agosto



**Microcuenca "Vaquería" Ejido Pueblo Nuevo, Dgo.
Índice Meteorológico Septiembre**



Leyenda

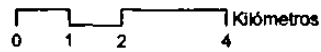
Grado

Medio

Alto

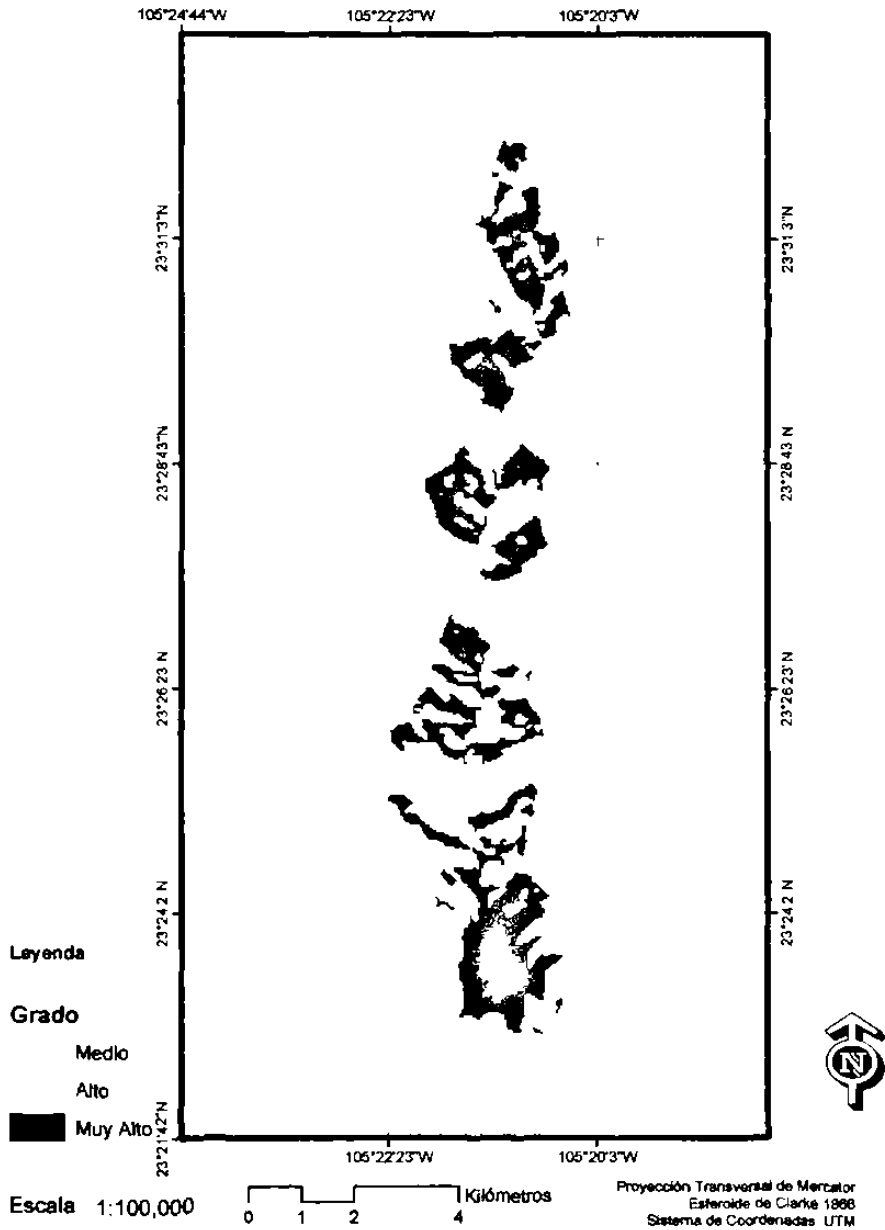


Escala 1:100,000

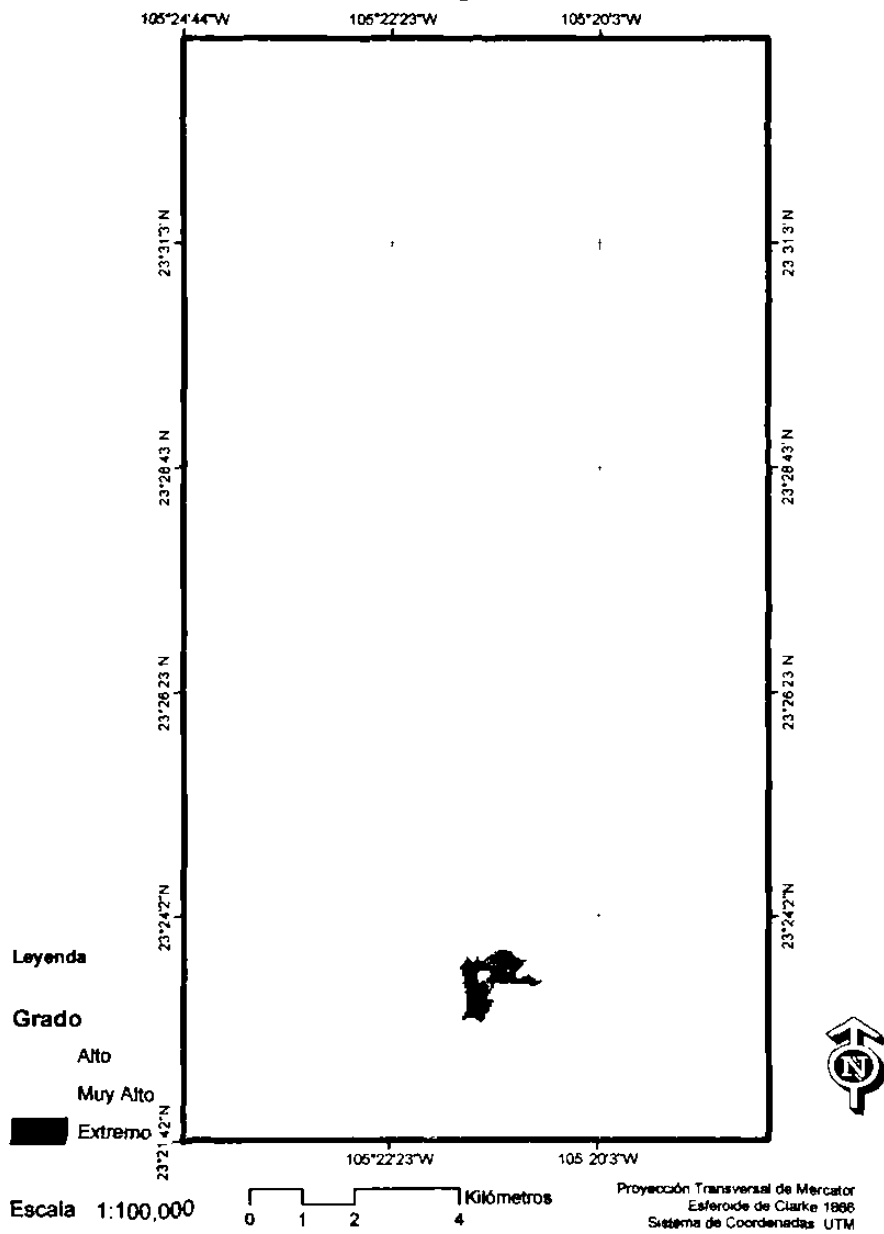


Proyección Transversal de Mercator
Esferoide de Clarke 1866
Sistema de Coordenadas UTM

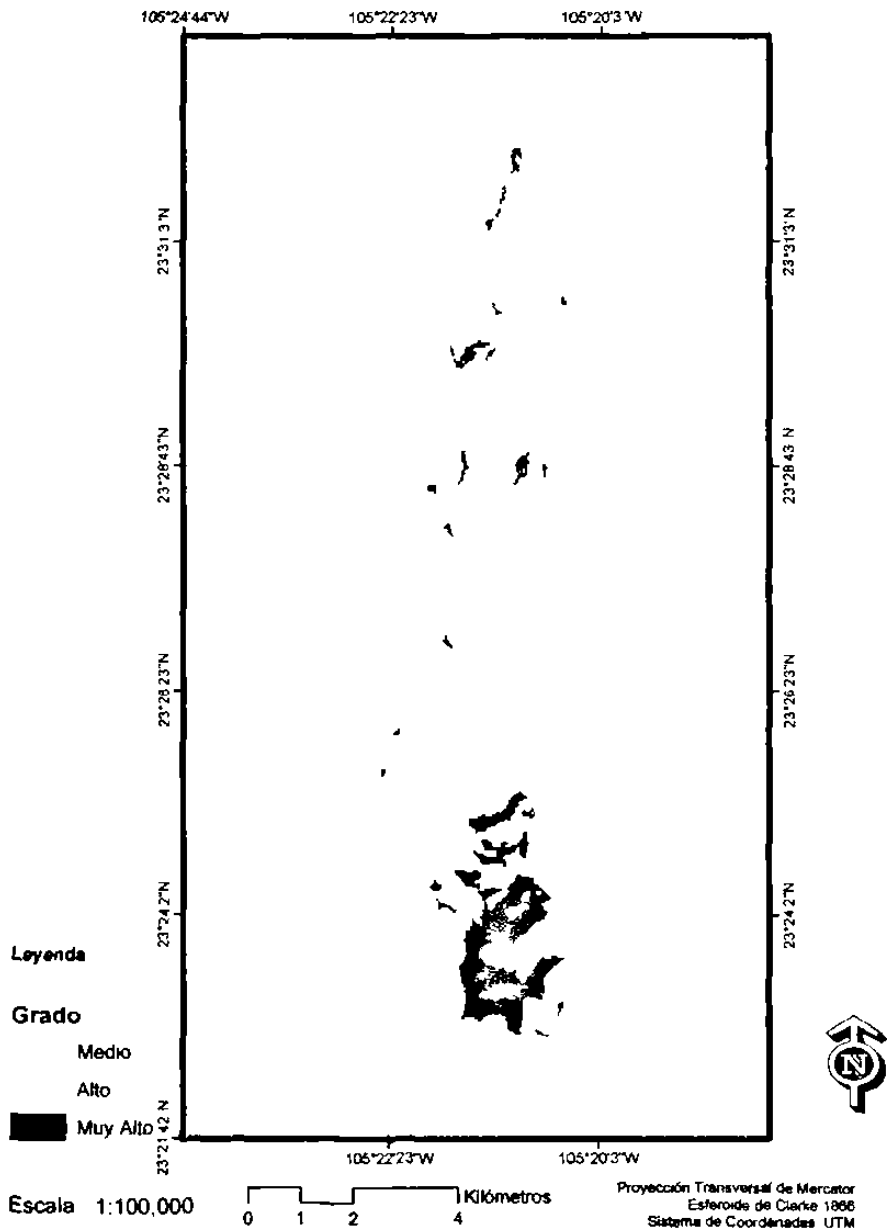
Microcuenca "Vaquería" Ejido Pueblo Nuevo, Dgo.
Índice Meteorológico Octubre



Microcuenca "Vaquería" Ejido Pueblo Nuevo, Dgo. Índice Meteorológico Noviembre



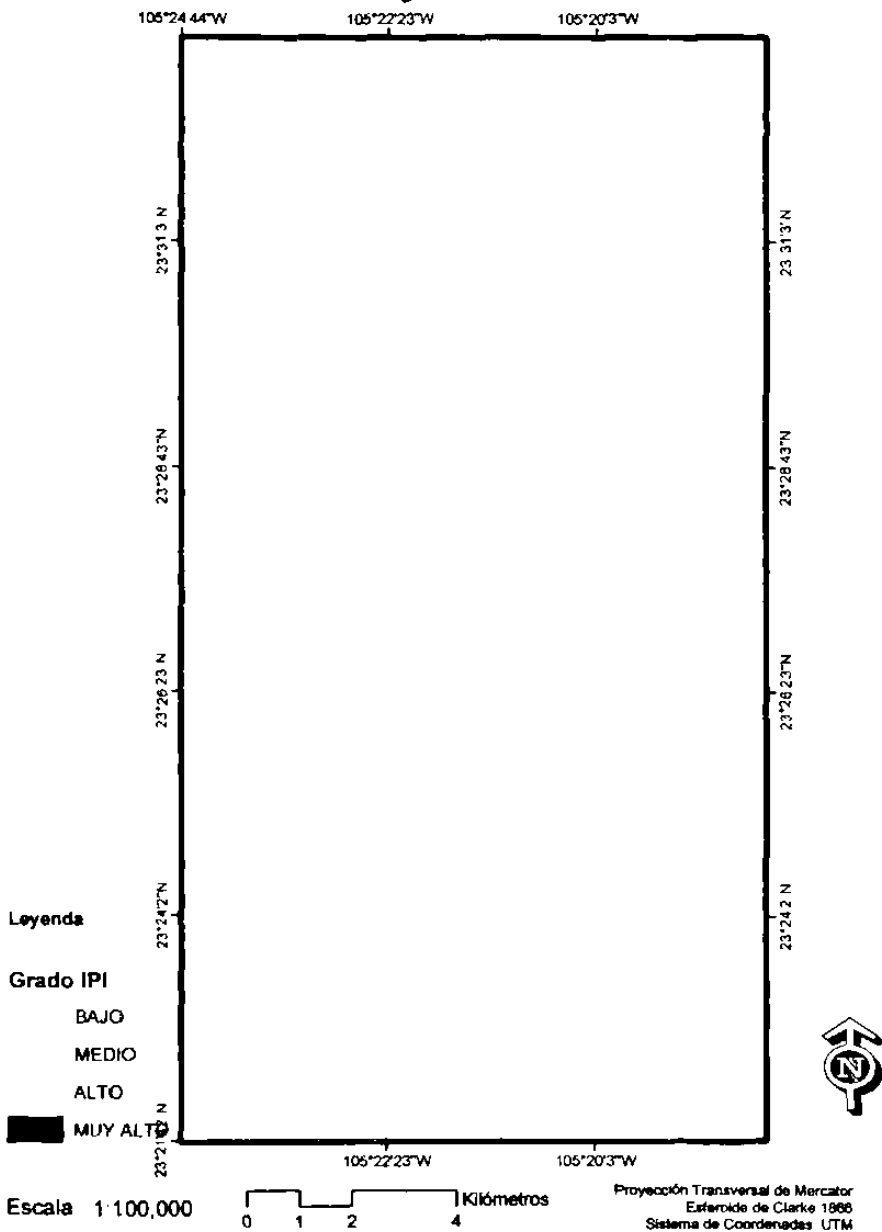
**Microcuenca "Vaquería" Ejido Pueblo Nuevo, Dgo.
Índice Meteorológico Diciembre**



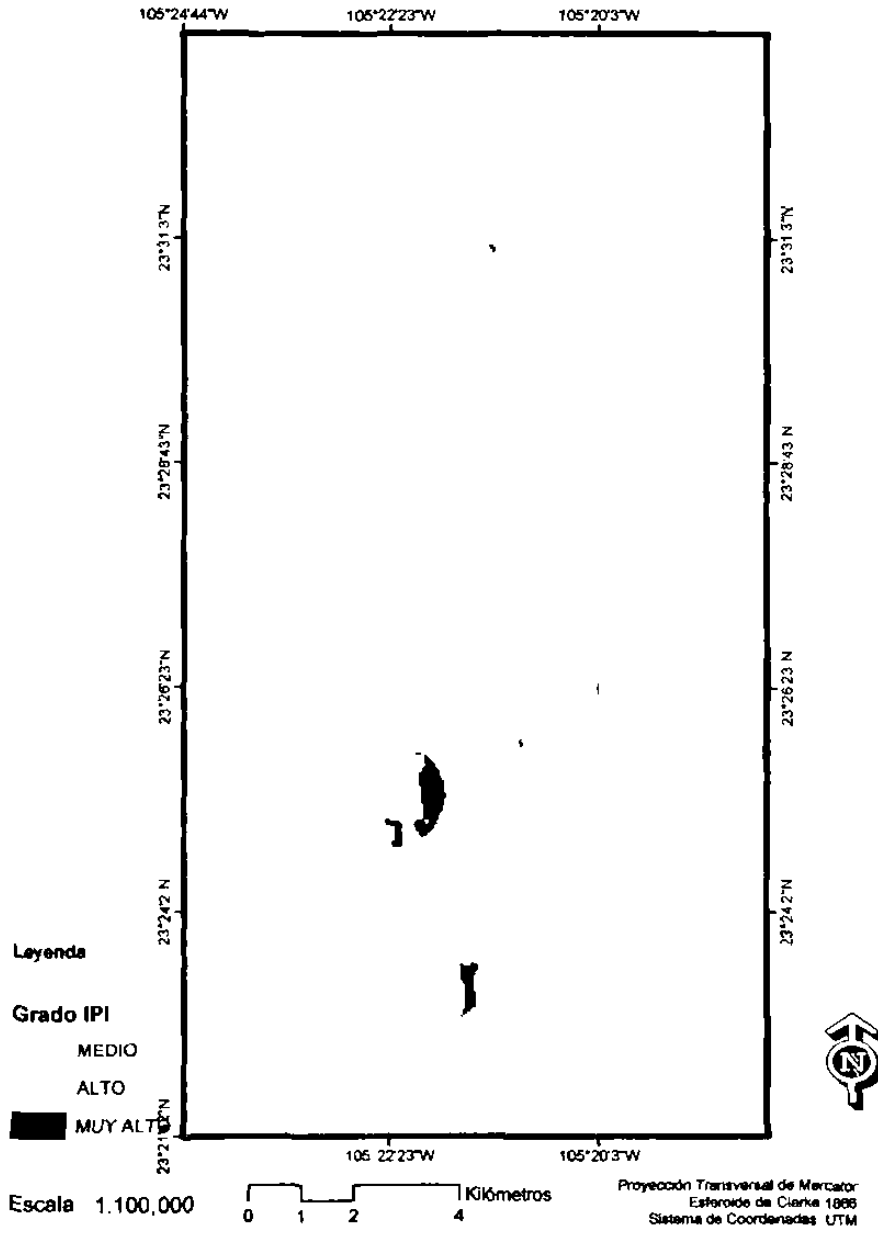
APÉNDICE C

MAPAS MENSUALES DEL ÍNDICE DE PELIGRO DE INCENDIOS

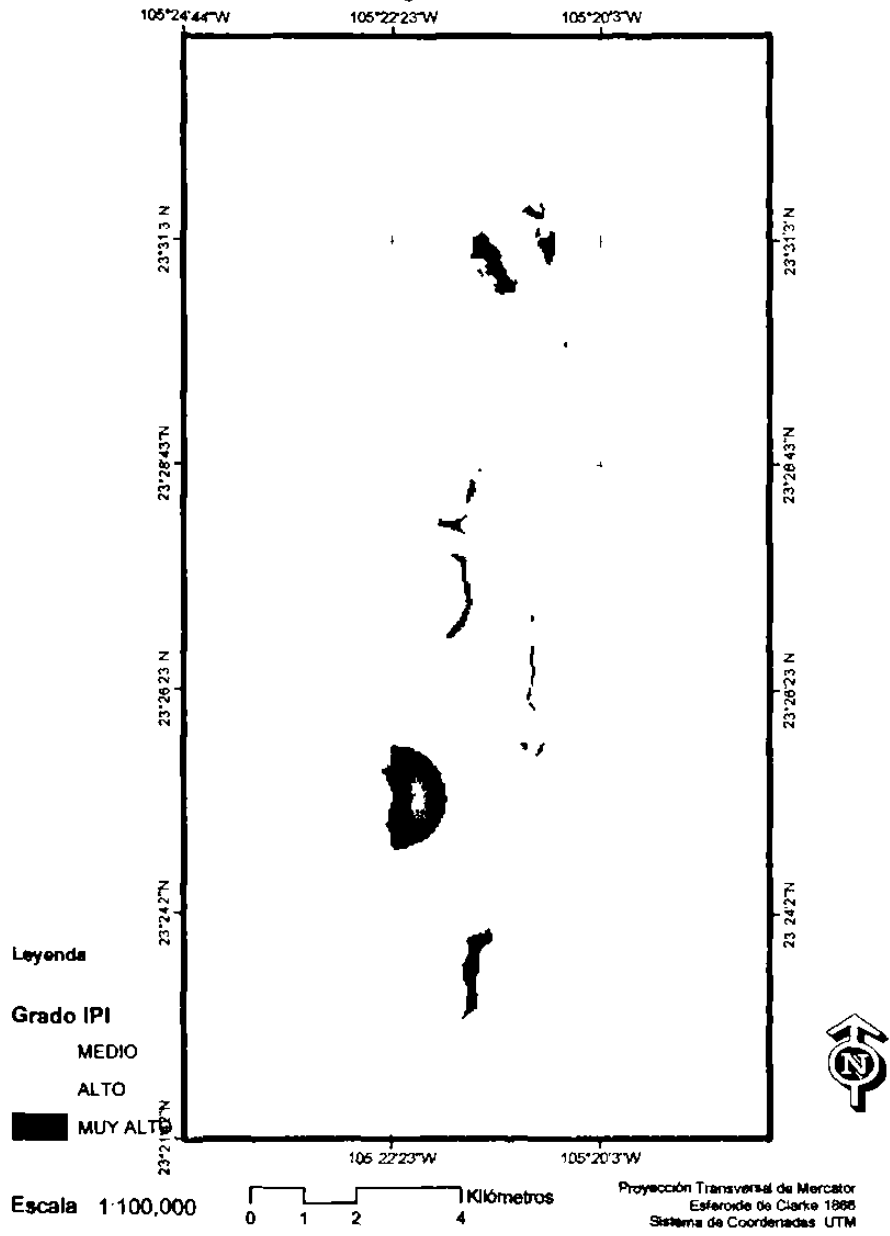
**Microcuenca "Vaqueria" Ejido Pueblo Nuevo, Dgo.
Índice de Peligro de Incendios Enero**



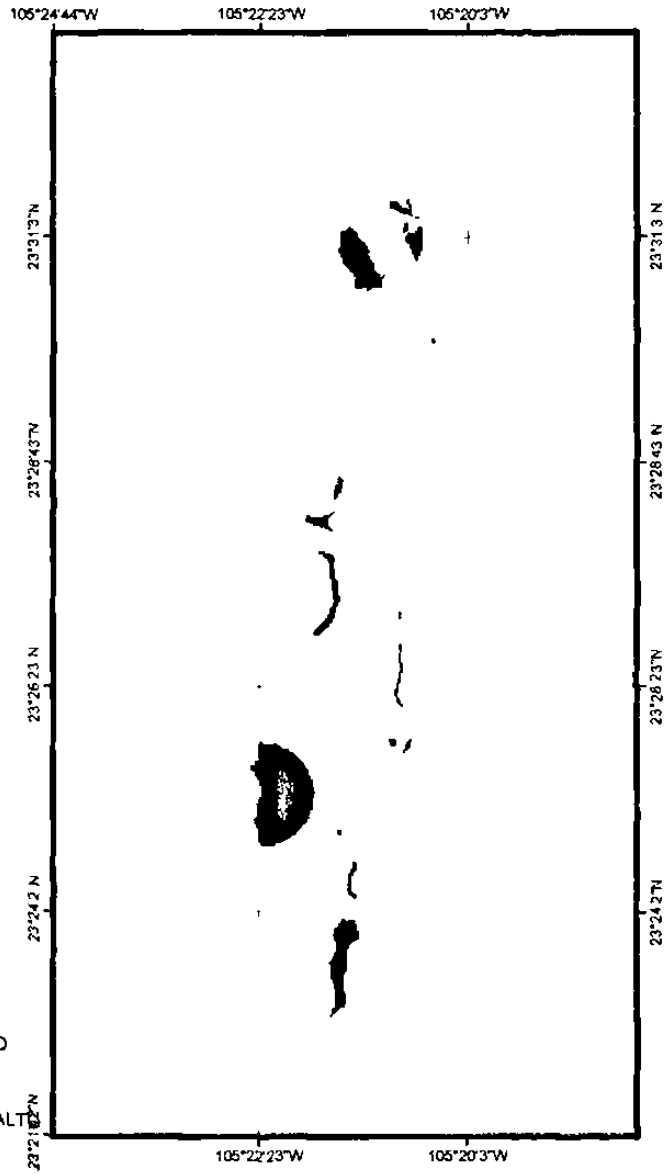
**Microcuenca "Vaquería" Ejido Pueblo Nuevo, Dgo.
Índice de Peligro de Incendios Febrero**



**Microcuenca "Vaquería" Ejido Pueblo Nuevo, Dgo.
Índice de Peligro de Incendios Marzo**



**Microcuenca "Vaquería" Ejido Pueblo Nuevo, Dgo.
Índice de Peligro de Incendios Abril**



Leyenda

Grado IPI

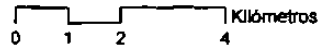
MEDIO

ALTO

 MUY ALTO

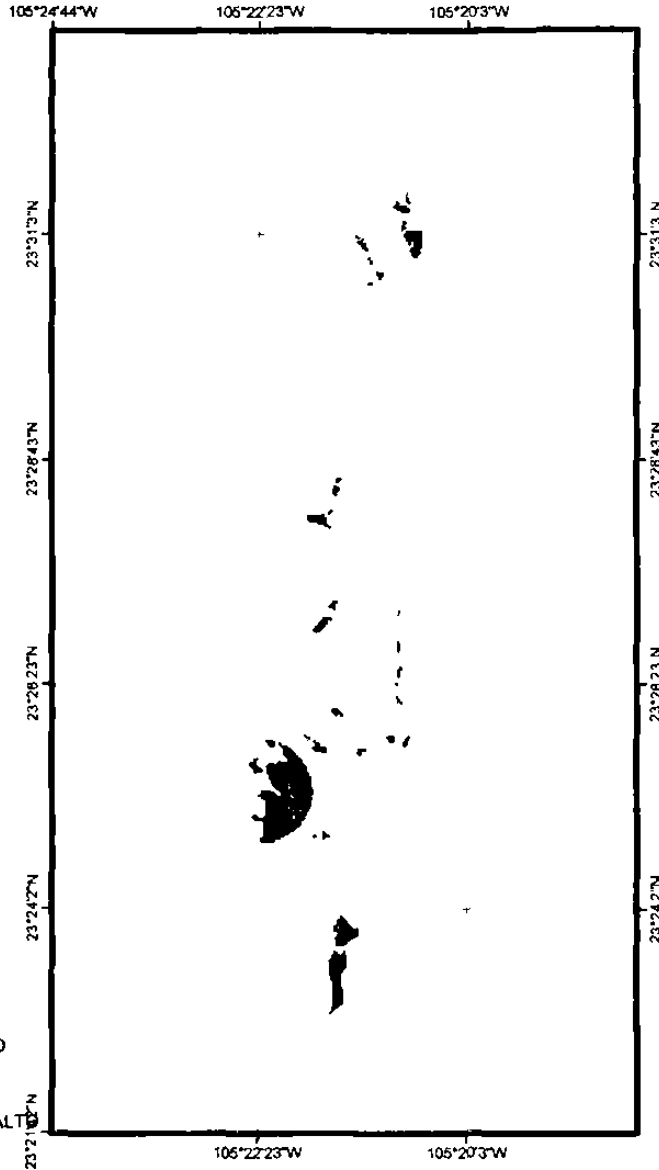


Escala 1:100,000



Proyección Transversal de Mercator
Esteroides de Clarke 1866
Sistema de Coordenadas UTM

**Microcuenca "Vaquería" Ejido Pueblo Nuevo, Dgo.
Índice de Peligro de Incendios Mayo**



Leyenda

Grado IPI

MEDIO

ALTO

 MUY ALTO

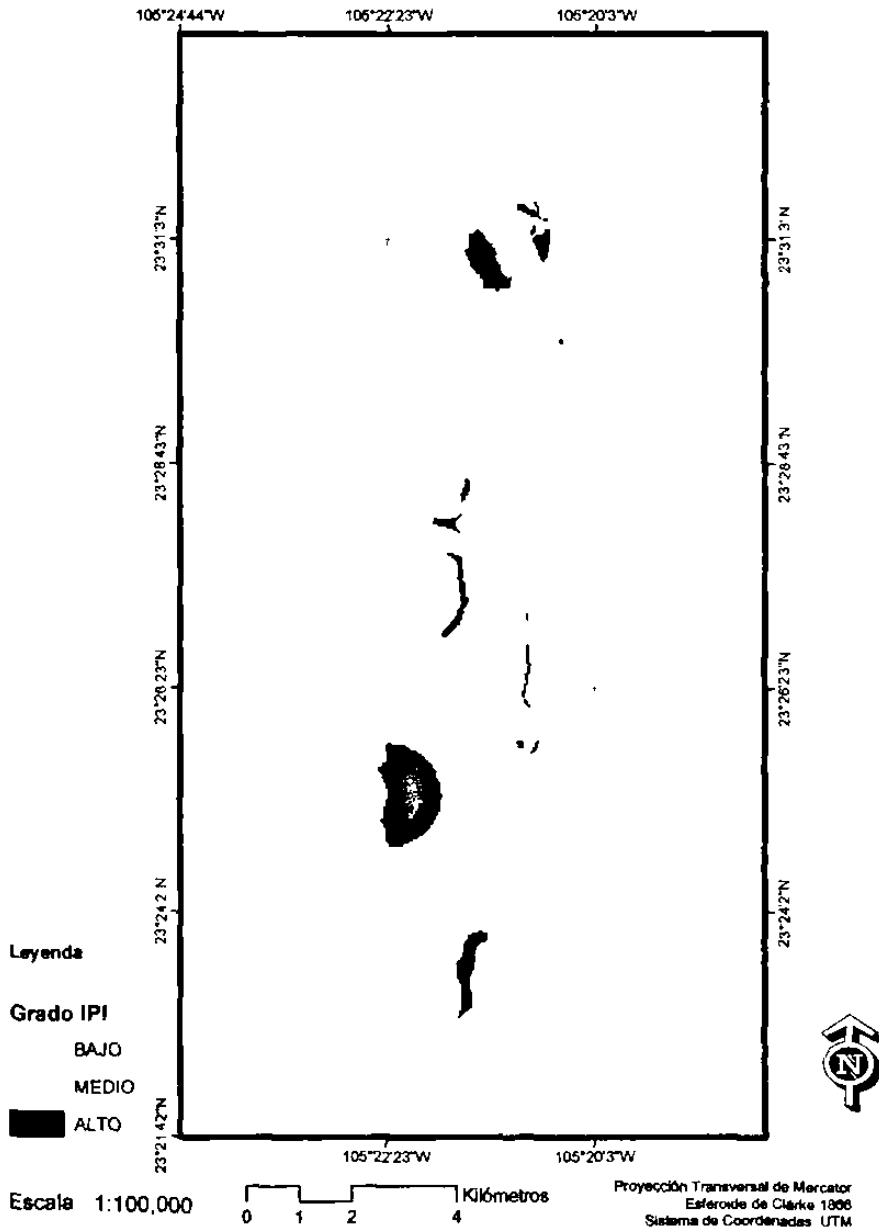
Escala 1:100,000



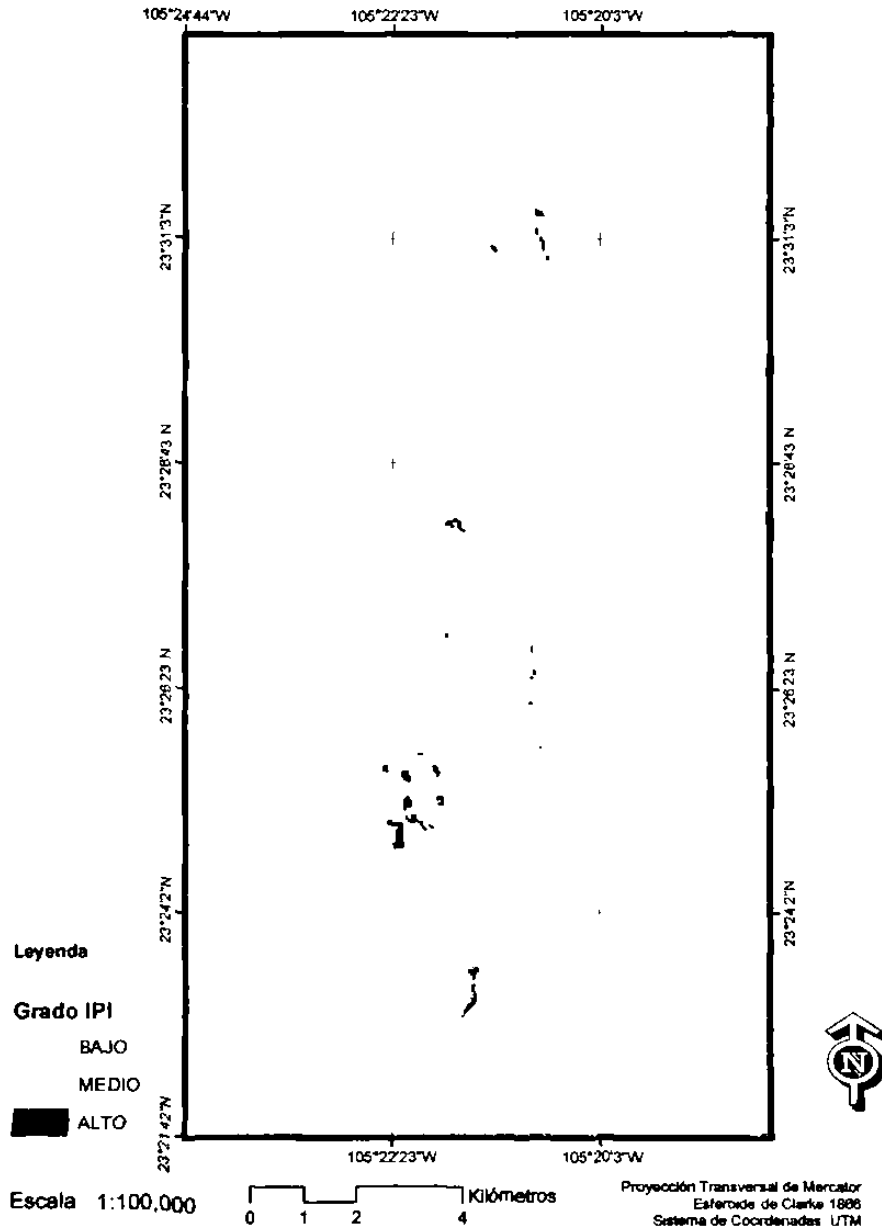
Proyección Transversal de Mercator
Estaroide de Clarke 1866
Sistema de Coordenadas UTM



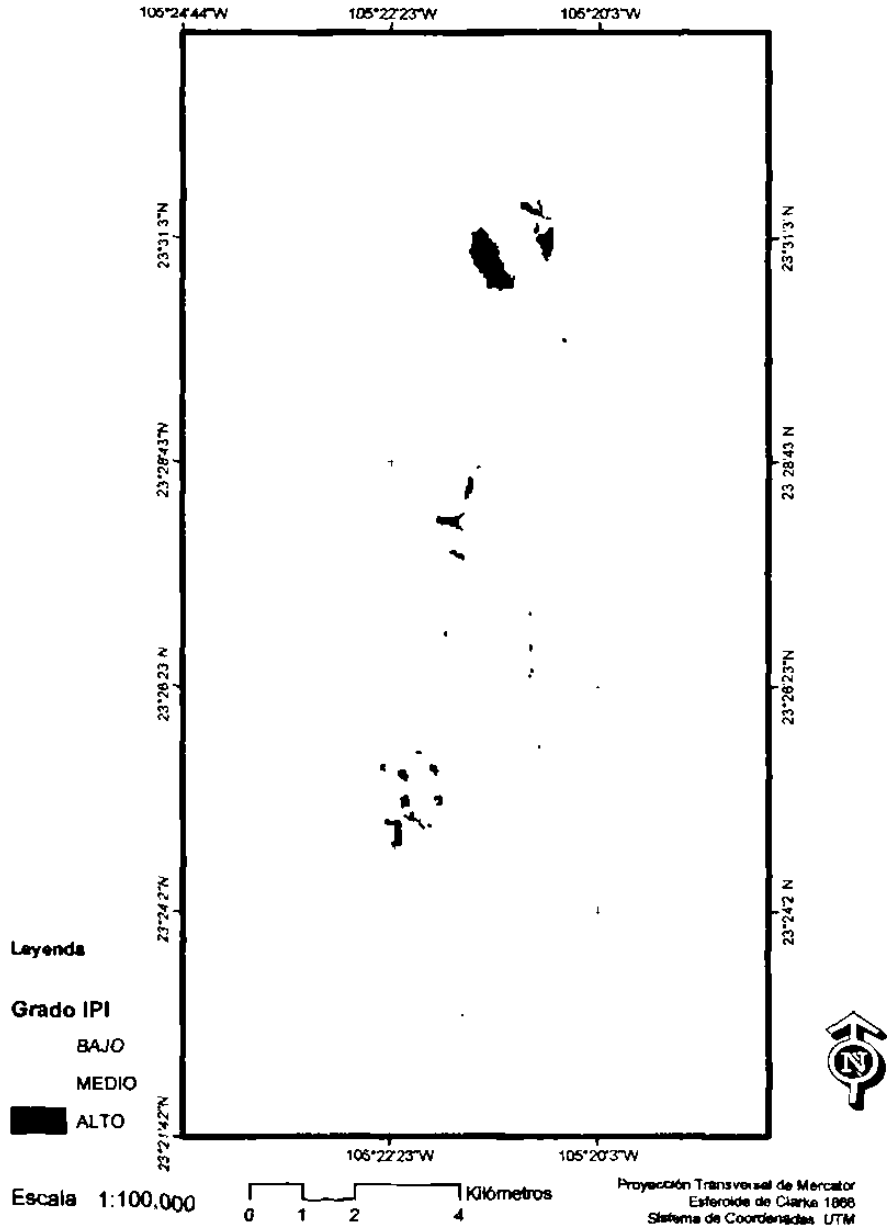
**Microcuenca "Vaquería" Ejido Pueblo Nuevo, Dgo.
Índice de Peligro de Incendios Junio**



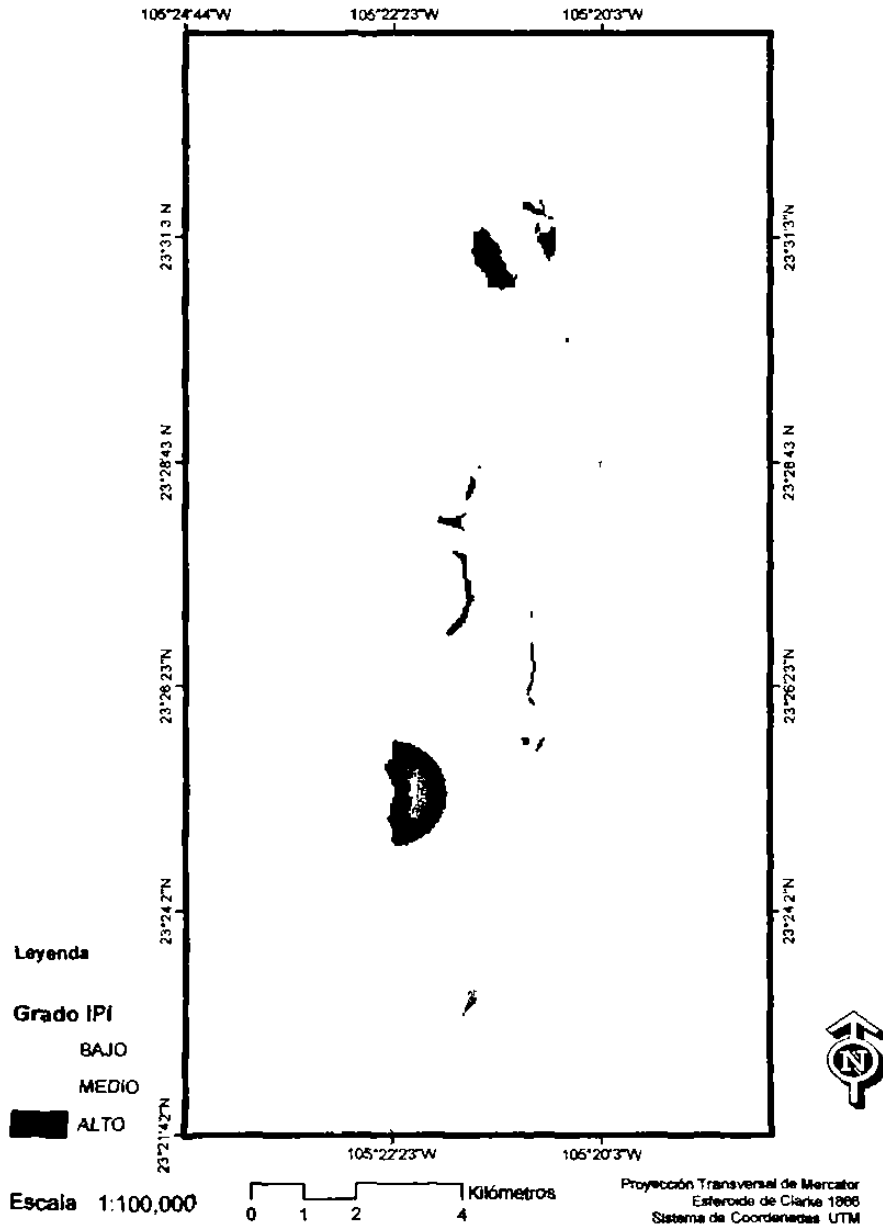
**Microcuenca "Vaquería" Ejido Pueblo Nuevo, Dgo.
Índice de Peligro de Incendios Julio**



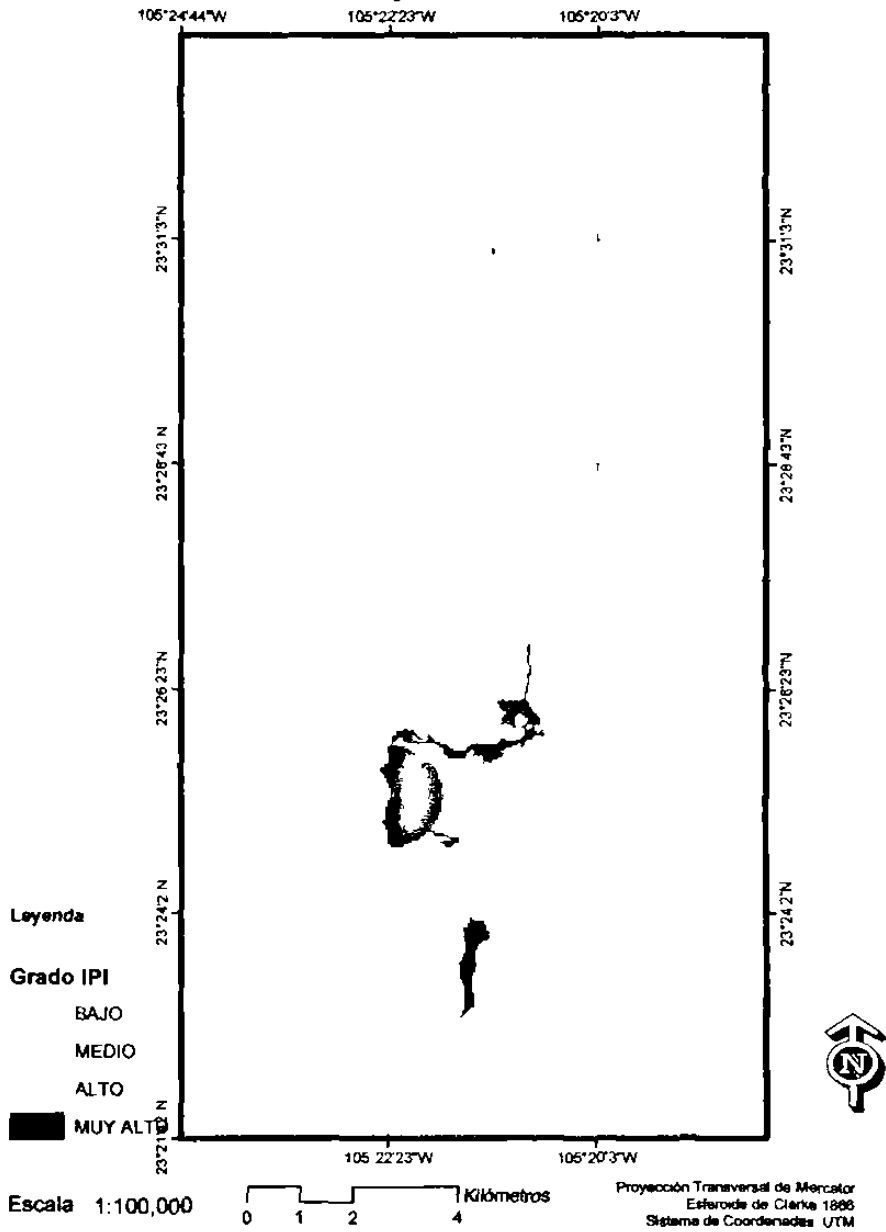
**Microcuenca "Vaquería" Ejido Pueblo Nuevo, Dgo.
Índice de Peligro de Incendios Agosto**



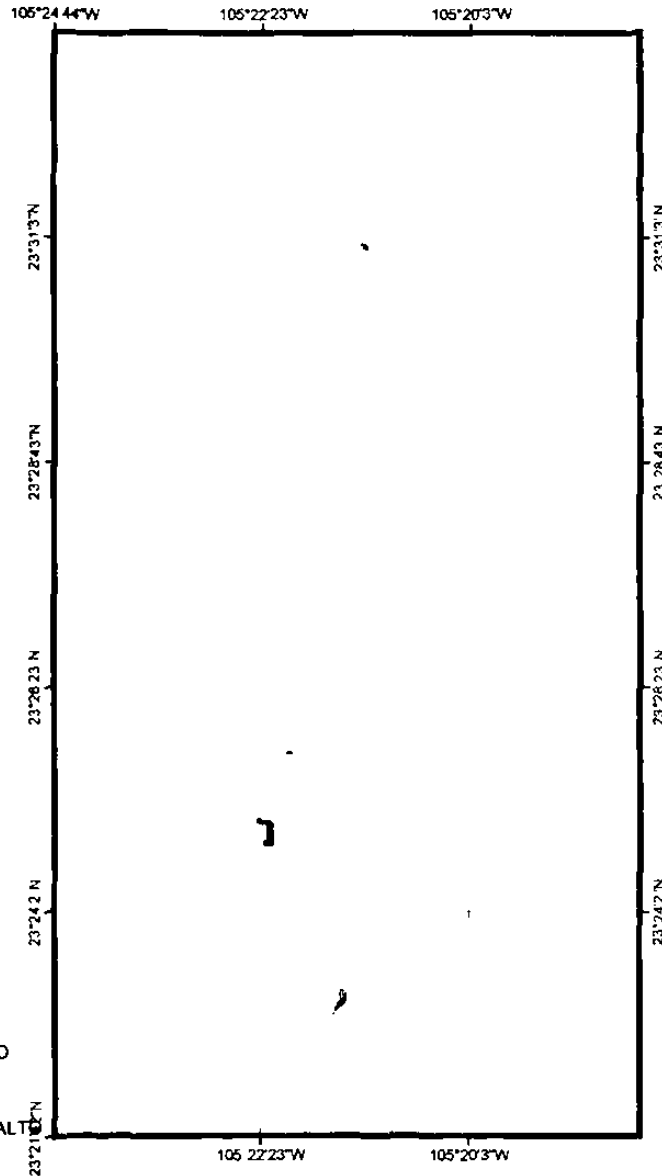
**Microcuenca "Vaquería" Ejido Pueblo Nuevo, Dgo.
Índice de Peligro de Incendios Septiembre**



**Microcuenca "Vaquería" Ejido Pueblo Nuevo, Dgo.
Índice de Peligro de Incendios Octubre**



**Microcuenca "Vaquería" Ejido Pueblo Nuevo, Dgo.
Índice de Peligro de Incendios Noviembre**



Leyenda

Grado IPI

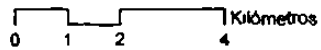
MEDIO

ALTO

 MUY ALTO



Escala 1:100,000



Proyección Transversal de Mercator
Esferoide de Clarke 1866
Sistema de Coordenadas UTM

Microcuenca "Vaquería" Ejido Pueblo Nuevo, Dgo. Índice de Peligro de Incendios Diciembre

