



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE FILOSOFIA Y LETRAS  
COLEGIO DE GEOGRAFIA

"ANALISIS DE LA DISTRIBUCION ESPACIAL Y TEMPORAL DE LOS INCENDIOS EN EL ESTADO DE OAXACA DE 1998 AL 2003".



T E S I S  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:  
LICENCIADA EN GEOGRAFIA  
P R E S E N T A :  
LAURA MERIT GONZÁLEZ RAMÍREZ

DIRECTOR DE TESIS: DR. LEOPOLDO GALICIA SARMIENTO



FACULTAD DE FILOSOFIA Y LETRAS

MEXICO, D. F.



FACULTAD DE FILOSOFIA Y LETRAS  
COLEGIO DE GEOGRAFIA

2005

m. 347698



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## DEDICATORIA

*A mi familia, Socorro, Javier y Sinuhé que son fundamentales en mi vida, deseo compartir con ustedes esta meta, porque de ustedes y mío ha sido este esfuerzo y por estar conmigo siempre, los amo.*

*A mi abuela Rosalía por todo el apoyo y cariño recibido desde siempre, a mi abuelo Remigio† que en el lugar donde esté sepa que es esencial en mi vida, a mi tío Edgar con afecto por los cientos de conversaciones que tuvimos y tendremos sin ponernos de acuerdo, a Rosalba por su ternura y compañía de hermana que siempre me ha brindado a los González Sotelo, Anaya González, González Espinoza, por ser parte de mi vida.*

*A Rafael, que con su presencia me recordó lo importante de la vida, y que sin su preciosa compañía este trabajo no tendría sentido, gracias por el tiempo que pasamos juntos, por las risas, por el amor infinito y por compartir la vista desde mi casa al mediodía.*

*A mis amigos y amigas que me han acompañado a lo largo de toda mi vida y que al buscar su nombre en esta lista no adviertan el lugar donde se encuentre ya que no es importante. A mis amigas de siempre Almeida y Lupita. A mis cómplices de la cancha “3” del CCH Azcapo: Gaby y Ariadne. A la banda de Geografía: a Nayelli por su infinita comprensión y sabiduría, a Ara “sigamos rockeando duro”, a Orlando el “Charolastra” por tantas carcajadas a lo largo de toda la carrera, a Juan Carlos “Rostro” por su apoyo en los momentos difíciles.*

*A la Facultad de Filosofía y Letras, al Colegio de Geografía, a la Facultad de Ingeniería y a sus profesores por los conocimientos adquiridos, por la formación profesional brindada y por el orgullo de ser Licenciada en Geografía.*

## AGRADECIMIENTOS

Gracias a todos los que de una manera u otra han tenido que ver en la elaboración de este trabajo, en especial al Dr. Leopoldo Galicia Sarmiento por el tiempo dedicado en las constantes revisiones, correcciones, y principalmente por ser director de esta tesis.

A la Mtra. en Geog. Leticia Gómez Mendoza por ser parte importante para el desarrollo de este trabajo con sus valiosos comentarios y enseñanzas en la parte técnica, metodológica y conceptual.

Al equipo de trabajo Elizabeth, Ricardo, Edgar, Rogelio y Celia por los buenos momentos que hicieron más ameno el desarrollo de esta tesis.

Al la Dra. Martha Cervantes, Mtra. Leticia Gómez Mendoza, Dra. Oralia Oropeza, Dr. Arturo García Romero y Dr. Leopoldo Galicia por el tiempo que cada uno invirtió revisando esta tesis y por sus valiosos comentarios que enriquecieron de manera importante este trabajo.

A la Comisión Nacional Forestal (Conafor) por el apoyo recibido ya que sin su arduo trabajo esta tesis no hubiera sido posible, en especial al GTF José Eduardo Rodríguez Galindo† por facilitarme la base de datos con los que se realizó esta tesis y por sus comentarios alentadores al inicio del trabajo.

A la Comisión Nacional para el estudio de la biodiversidad (Conabio) por los valiosos datos proporcionados para el desarrollo de esta tesis.

Al Instituto de Geografía y al personal que labora ahí, por el apoyo logístico proporcionado por medio de computadoras, espacio, biblioteca, material etc.

Al proyecto “Variabilidad espacial de los cambios de uso del suelo en la Sierra Norte de Oaxaca y sus efectos en la dinámica espacial de los capitales de carbono”; apoyado por la Dirección General de Apoyo a Proyectos Académicos (DGAPA-PAPIIT); clave del proyecto: IN208902-3 por el apoyo brindado para la realización de este trabajo por medio de la beca recibida de Enero del 2004 a Diciembre del 2004 y de enero del 2005 a junio del mismo año, además del apoyo otorgado para la presentación de los avances de esta tesis en el Congreso Nacional de Botánica celebrado en Oaxaca en el 2004.

## INDICE

<b>RESUMEN</b>	<b>2</b>
<b>INTRODUCCION</b>	<b>4</b>
Concepto del fuego	4
El régimen de fuego	7
El efecto del cambio climático y la variación climática en el comportamiento de los incendios	10
El fuego en los ecosistemas	12
El análisis espacial	14
<b>PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b>	<b>18</b>
<b>OBJETIVOS</b>	<b>21</b>
1. General	21
2. Particulares	21
<b>MÉTODOS</b>	<b>21</b>
1. Sitio de Estudio.	21
3. Manejo y análisis de datos	24
4. Cartografía	26
<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	<b>28</b>
1. Los incendios en México	28
1.1 Incendios de 1970 al 2003	28
1.2 Incendios en México de 1998 al 2003	32
2. Los incendios en Oaxaca 1998-2003	41
2.1 Distribución regional de los incendios en Oaxaca	50
2.1.1 <i>Distribución espacial de los incendios por año</i>	55
2.1.2 <i>Distribución regional de los incendios por estrato</i>	57
2.1.3 <i>Distribución regional de los incendios por ecosistema</i>	66
2.1.4 <i>Distribución regional de los incendios por tipo de evento</i>	84
2.2 Distribución temporal	105
2.2.1 <i>Distribución temporal de los incendios por año</i>	105
2.2.2 <i>Distribución temporal de los incendios por mes</i>	108
2.3 Distribución temporal de los puntos de calor	129
2.3.1 <i>Distribución de los puntos de calor por tipo de vegetación</i>	136
2.4 Causas de los incendios	142
2.4.1 <i>Causas regionales de los incendios por año</i>	142
2.4.2 <i>Distribución temporal de las causas de los incendios por mes</i>	152
2.4.3 <i>Relación entre número de incendios y anomalías climáticas</i>	158
<b>CONCLUSIONES</b>	<b>161</b>
<b>REFERENCIAS</b>	<b>165</b>

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1) Número total de incendios en México de 1970 al 2003.....	31
Figura 2) Área total incendiada en México de 1970 al 2003. ....	31
Figura 3. Número de incendios por macrorregiones de México de 1998 al 2003. 3a) Nor-oeste, 3b) Norte, 3c) Nor-este, 3d) Centro-norte, 3e) Centro-occidente, 3f) Centro-este, 3g) Oriente, 3h) Sur y 3i) Península de Yucatán. ....	39
Figura 4. Número de incendios por macrorregiones de México de 1998 al 2003. 4a) Nor-oeste, 4b) Norte, 4c) Nor-este, 4d) Centro-norte, 4e) Centro-occidente, 4f) Centro-este, 4g) Oriente, 4h) Sur y 4i) Península de Yucatán. ....	40
Figura 5a. Número de incendios forestales de Oaxaca en el periodo de 1998 al 2003, clasificado por categorías de superficie de incendio. ....	46
Figura 5. Relación entre superficie afectada y número de incendios por región en Oaxaca de 1998 al 2003. 5b) 1998, 5c) 1999, 5d) 2000, 5e) 2001, 5f) 2002 y 5g) 2003. ....	49
Figura 5. Número de incendios (5h) y superficie afectada (5i) por región para cada año de estudio (1998 - 2003). ....	54
Figura 6. Superficie afectada (ha) y número de incendios por región en Oaxaca de 1998 al 2003. 6A) 1998, 6B) 1999, 6C) 2000, 6D) 2001, 6E) 2002, 6F) 2003.....	56
Figura 7. Superficie incendiada (ha) para cada región por nivel de vegetación y para cada año de estudio (1998 al 2003). 7b) Valles Centrales, 7c) Sierra Sur, 7d) Costa, 7e) Mixteca, 7f) Sierra Norte, 7g) Istmo, 7h) Cañada, 7i) Papaloapan. ....	63
Figura 8. Número de incendios para cada región por nivel de vegetación y para cada año de estudio (1998 al 2003). 8a) Valles Centrales, 8b) Sierra Sur, 8c) Costa, 8d) Mixteca, 8e) Sierra Norte, 8f) Istmo, 8g) Cañada, 8h) Papaloapan. ....	64
Figura 9. Superficie afectada y número de incendios por nivel de vegetación para cada ecosistema en los Valles centrales. 9b) y 9c) Templado frío (bosques), 9d) y 9e) Zonas áridas (matorral desértico). ....	67
Figura 9a. Superficie afectada y número de incendios por tipo de ecosistema en la región Valles Centrales de 1999 al 2003. ....	67
Figura 10. Superficie afectada y número de incendios por nivel de vegetación para cada ecosistema en la Sierra Sur. 10b) y 10c) Templado frío (bosques), 10d) y 10e) Tropical (selvas), 10f) y 10g) Zonas áridas (matorral desértico). ....	69
Figura 10a. Superficie afectada y número de incendios por tipo de ecosistema en la Sierra Sur en el periodo de 1999 al 2003. ....	69
Figura 11. Superficie afectada y número de incendios por nivel de vegetación para cada ecosistema en la Costa. 11b) y 11c) Templado frío (bosques), 11d) y 11e) Tropical (selvas), 11f) y 11g) Zonas áridas (matorral desértico). ....	71
Figura 11a. Superficie afectada y número de incendios por tipo de ecosistema en la Costa en el periodo de 1999 al 2003. ....	71
Figura 12. Superficie afectada y número de incendios por nivel de vegetación para cada ecosistema en la Mixteca. 12b) y 12c) Templado frío (bosques), 12d) y 12e) Tropical (selvas), 12f) y 12g) Zonas áridas (matorral desértico). ....	73
Figura 12a. Superficie afectada y número de incendios por tipo de ecosistema en la Mixteca en el periodo de 1999 al 2003. ....	73
Figura 13. Superficie afectada y número de incendios por nivel de vegetación para cada ecosistema en la Sierra Norte. 13b) y 13c) Templado frío (bosques), 13d) y 13e) Tropical (selvas). ....	75
Figura 13a. Superficie afectada y número de incendios por tipo de ecosistema en la Sierra Norte en el periodo de 1999 al 2003. ....	75
Figura 14. Superficie afectada y número de incendios por nivel de vegetación para cada ecosistema en el Istmo. 14b) y 14c) Templado frío (bosques), 14d) y 14e) Tropical (selvas). ....	77
Figura 14a. Superficie afectada y número de incendios por tipo de ecosistema en el Istmo en el periodo de 1999 al 2003. ....	77
Figura 15. Superficie afectada y número de incendios por nivel de vegetación para cada ecosistema en la Cañada. 15b) y 15c) Templado frío (bosques). ....	79
Figura 15a. Superficie afectada y número de incendios por tipo de ecosistema en la Cañada en el periodo de 1999 al 2003. ....	79
Figura 16. Superficie afectada y número de incendios por nivel de vegetación para cada ecosistema en el	83

Papaloapan. 16b) y 16c) Templado frío (bosques), 16d) y 16e) Tropical (selvas).....	
Figura 16a. Superficie afectada y número de incendios por tipo de ecosistema en el Papaloapan en el periodo de 1999 al 2003. ....	83
Figura 17. Superficie afectada y número de incendios por tipo de ecosistema, en más de una región en el periodo de 1999 al 2003. ....	83
Figura 18. Superficie afectada y número de incendios por tipo de ecosistema, en regiones no determinadas en el año 2002. ....	83
Figura 19. Superficie afectada y número de incendios en los Valles Centrales por nivel de vegetación, para cada tipo de incendio, de 1998 al 2003. 19b y 19c) Superficial, 19d y 19e) De copa, 19f y 19g) Mixto.....	85
Figura 19a. Superficie afectada y número de incendios por tipo de evento en los Valles Centrales.....	85
Figura 20. Superficie afectada y número de incendios en la Sierra Sur por nivel de vegetación, para cada tipo de incendio, de 1998 al 2003. 20b y 20c) Superficial, 20d y 20e) De copa, 20f y 20g) Mixto, 20g y 20i) Sin tipo específico. ....	87
Figura 20a. Superficie afectada y número de incendios por tipo de evento en la Sierra Sur.....	87
Figura 21. Superficie afectada y número de incendios en la Costa por nivel de vegetación, para cada tipo de incendio, de 1998 al 2003. 21a y 21b) Superficial, 21c y 21d) De copa, 21e y 21f) Subterráneo, 21g y 21h) Mixto 21i y 21j) Sin tipo específico. ....	89
Figura 21a. Superficie afectada y número de incendios por tipo de evento en la Costa.....	89
Figura 22. Superficie afectada y número de incendios en la Mixteca por nivel de vegetación, para cada tipo de incendio, de 1998 al 2003. 22b y 22c) Superficial, 22d y 22e) Mixto.....	91
Figura 22a. Superficie afectada y número de incendios por tipo de evento en la Mixteca.....	91
Figura 23. Superficie afectada y número de incendios en la Sierra Norte por nivel de vegetación, para cada tipo de incendio, de 1998 al 2003. 23b y 23c) Superficial, 23d y 23e) De copa, 23f y 23g) Mixto.....	93
Figura 23a. Superficie afectada y número de incendios por tipo de evento en la Sierra Norte.....	93
Figura 24. Superficie afectada y número de incendios en el Istmo por nivel de vegetación, para cada tipo de incendio, de 1998 al 2003. 24b y 24c) Superficial, 24d y 24e) De copa, 24f y 24g) Subterráneo, 24h y 24i) Mixto, 24j y 24k) Sin tipo específico. ....	95
Figura 24a. Superficie afectada y número de incendios por tipo de evento en el Istmo.....	95
Figura 25. Superficie afectada y número de incendios en la Cañada por nivel de vegetación, para cada tipo de incendio, de 1998 al 2003. 25b y 25c) Superficial, 25d y 25e) Copa, 25f y 25g) Mixto.....	98
Figura 25a. Superficie afectada y número de incendios por tipo de evento en la Cañada.....	98
Figura 26. Superficie afectada y número de incendios en la región del Papaloapan por nivel de vegetación, para cada tipo de incendio, de 1998 al 2003. 26b y 26c) Superficial, 26d y 26e) De copa, 26f y 26g) Mixto. ....	101
Figura 26a. Superficie afectada y número de incendios por tipo de evento en el Papaloapan.....	101
Figura 27. Superficie afectada y número de incendios mensual en el estado de Oaxaca de 1998 al 2003. 27a) 1998, 27b) 1999, 27c) 2000, 27d) 2001, 27e) 2002 y 27f) 2003.....	107
Figura 28. Superficie afectada en diciembre por región en cada año de estudio. Figura 28b) Valles Centrales, 28c) Sierra Sur, 28d) Mixteca.....	110
Figura 28a. Superficie afectada por nivel de vegetación para diciembre del periodo de 1998 al 2003. ....	110
Figura 29. Superficie afectada en enero por región en cada año de estudio. Figura 29b) Valles Centrales, 29c) Sierra Sur, 29d) Costa, 29e) Mixteca, 29f) Sierra Norte. ....	112
Figura 29a. Superficie afectada por nivel de vegetación para Enero del periodo de 1998 al 2003.....	112
Figura 30. Superficie afectada en febrero por región en cada año de estudio. Figura 30b) Valles Centrales, 30c) Sierra Sur, 30d) Costa, 30e) Mixteca, 30f) Sierra Norte, 30g) Istmo, 30h) Papaloapan.....	115
Figura 30a. Superficie afectada por nivel de vegetación para Febrero del periodo de 1998 al 2003.....	115
Figura 31. Superficie afectada en marzo por región en cada año de estudio. Figura 31b) Valles Centrales, 31c) Sierra Sur, 31d) Costa, 31e) Mixteca, 31f) Sierra Norte, 31g) Istmo, 31h) Cañada, 31i) Papaloapan.....	118
Figura 31a. Superficie afectada por nivel de vegetación para Marzo del periodo de 1998 al 2003.....	118
Figura 32. Superficie afectada en abril por región en cada año de estudio. Figura 32b) Valles Centrales, 32c) Sierra Sur, 32d) Costa, 32e) Mixteca, 32f) Sierra Norte, 32g) Istmo, 32h) Cañada, 32i) Papaloapan. ....	121
Figura 32a. Superficie afectada por nivel de vegetación para abril, del periodo de 1998 al 2003. ....	121
Figura 33. Superficie afectada en mayo por región en cada año de estudio. Figura 33b) Valles Centrales, 33c) Sierra Sur, 33d) Costa, 33e) Mixteca, 33f) Sierra Norte, 33g) Istmo, 33h) Cañada, 33i) Papaloapan.....	124
Figura 33a. Superficie afectada por nivel de vegetación mayo, del periodo de 1998 al 2003.....	124
Figura 34. Superficie afectada en junio por región en cada año de estudio. Figura 34a) Sierra Sur, 34c) .....	126

Sierra Norte, 34d) Istmo, 34e) Cañada.....	126
Figura 34a. Superficie afectada por nivel de vegetación para Junio del periodo de 1998 al 2003.....	126
Figura 35. Istmo (Julio). .....	126
Figura 36. Superficie afectada (ha) y número de incendios por causa. Figuras 36a y 36b) Valles Centrales, Figuras 36c y 36d) Sierra Sur, Figuras 36e y 36f) Costa, Figuras 36g y 36h) Mixteca, Figuras 36i y 36j) Sierra Norte, Figuras 36k y 36l) Istmo, Figuras 36m y 36n) Cañada, Figuras 36ñ y 36o) Papaloapan, Figuras 36p y 36q) otras. ....	149
Figura 37. Superficie afectada y número de incendios por causa de 1998 al 2003. Figuras 33a y 37b) 1998, Figuras 33c y 37d) 1999, Figuras 33e y 37f) 2000, Figuras 33g y 37h) 2001, Figuras 33i y 37j) 2002, Figuras 33k y 37l) 2003. ....	156
Figura I. Regionalización socioeconómica de México (Macrorregiones), (Bassols, 1997).....	32
Figura II. Regionalización del estado de Oaxaca (Conafor).....	42
<b>Distribución espacial de los puntos de calor</b>	
Figura a. 2000 diurno.....	131
Figura b. 2000 nocturno.....	131
Figura c. 2001 diurno.....	131
Figura d. 2001 nocturno.....	131
Figura e. 2002 diurno.....	133
Figura f. 2002 nocturno.....	133
Figura g. 2003 diurno.....	133
Figura h. 2003 nocturno.....	133

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Superficie de cada región en km <sup>2</sup> (SE) y superficie incendiada por región en Oaxaca de 1998 al 2003 SR (Km <sup>2</sup> ). Proporción de superficie incendiada en el estado SE1% y proporción de superficie incendiada de cada región SE2 (%).....	45
Tabla 2. Proporción de área incendiada por región (%) en Oaxaca de 1998 al 2003.....	45
Tabla 3. Densidad de incendios por región (número de incendios por km <sup>2</sup> ), en Oaxaca de 1998 al 2003.....	46
Tabla 4. Superficie incendiada promedio (ha) por región de 1998 al 2003 en Oaxaca.....	46
Tabla 5. Regresión número de incendios-superficie incendiada, por nivel en Oaxaca.....	53
Tabla 6. Regresión número de incendios-superficie afectada, por año en Oaxaca.....	53
Tabla 7. Superficie afectada (ha) en más de una región de Oaxaca.....	65
Tabla 8. Número de incendios en más de una región de Oaxaca. ....	65
Tabla 9. Superficie afectada y número de incendios en Oaxaca, de eventos en los que no se determinó la región. ....	99
Tabla 10. Distribución anual de puntos de calor por tipo de vegetación en Oaxaca.....	140
Tabla 11. Regresión número de incendios-precipitación.....	160
Tabla 12. Regresión número de incendios-temperatura máxima.....	160
Tabla 13. Regresión número de incendios-temperatura media.....	160
Tabla 14. Regresión número de incendios y oscilación de la temperatura superficial del mar.....	160



## RESUMEN

En México, el número de incendios y la superficie afectada por éstos se ha incrementado considerablemente en los últimos años, sin embargo, pocos estudios han evaluado su distribución espacial y temporal. Esto es fundamental para proponer mejores estrategias de manejo y control de incendios en los diferentes ecosistemas del país. El objetivo de este trabajo fue analizar la dinámica espacial y temporal de los incendios en Oaxaca del periodo 1998-2003. El número de incendios y la superficie afectada se analizó con base en los datos generados por Comisión Nacional Forestal (Conafor) del periodo de 1998 al 2003. Además, se utilizaron los datos de puntos de calor generados por imágenes de satélite AVHRR de la Comisión Nacional para la Biodiversidad (Conabio) del periodo de 2000 al 2003. El análisis espacial se realizó a escala regional con base en las ocho áreas propuestas por la Conafor. El tamaño de cada incendio fue variable, sin embargo los eventos más frecuentes registraron entre 3 y 50 ha de superficie, por otro lado pocos incendios presentaron extensiones > a 1200 ha. La superficie afectada y el número de incendios fue marcadamente diferente entre años, por ejemplo, en 1998 se presentaron 417 incendios y 252,184 ha incendiadas. En contraste, 1999, 2000, 2001, 2002 y 2003 presentaron alrededor de 300 incendios y menos de 70,000 afectadas cada uno. La distribución temporal de los incendios está bien delimitada de los meses de diciembre a junio: la mayor frecuencia de éstos se presenta en abril y mayo debido a que en estos meses son más frecuentes los periodos de sequía y elevadas temperaturas, además es el inicio de las actividades agrícolas y pecuarias. Desde el punto de vista espacial, las regiones más afectadas fueron los Valles Centrales y la Sierra Sur, y las menos afectadas fueron el

Papaloapan y la Cañada. En el estado de Oaxaca, los incendios afectaron significativamente a los tipos de vegetación con arbustos y pastizales. Asimismo, la distribución espacial de los puntos de calor y los datos de Conafor expresan que estos se concentraron principalmente en los bosques templados, la selva baja caducifolia, la selva mediana con vegetación secundaria y el pastizal inducido, y se distribuyeron en regiones como Sierra Sur, Istmo y Costa. Los incendios superficiales son los más frecuentes, pero los incendios de tipo mixto son los que se extienden más ampliamente. La correlación entre el número de incendios y los factores climáticos como la temperatura y la precipitación no fue significativa. Esto sugiere que las actividades agropecuarias son responsables del creciente número de incendios; pero sus efectos son amplificados durante los años secos, es decir se presentan con mucha mayor frecuencia, son más extensos y más difíciles de combatir; el año 1998 es un ejemplo claro de este comportamiento.

## INTRODUCCION

### Concepto del fuego

El fuego es la liberación y desprendimiento de energía en forma de luz y calor. La condición imprescindible para que se de el fuego es la presencia de una sustancia combustible a una temperatura alta para provocar la combustión, y la presencia de oxígeno o cloro suficientes para mantenerla (Anderson et al., 2000; Stolle y Lambin, 2003). El proceso empieza con el evento de ignición que ocurre cuando algunos factores externos (p.e rayos, cultivos ilegales, etc.) desencadenan una flama, la cual hace contacto con el combustible causando la ignición y aumento de la temperatura (Anderson et al., 2000). El fuego forestal se produce cuando el fuego (calor) afecta a los combustibles vegetales naturales (Cenapred, 1999). Los fuegos, llamados también incendios, por lo general son muy extensos y no son fácilmente controlados. Se considera incendio forestal al fuego que, ocurre y se propaga de una forma no controlada o programada es decir por causas naturales o inducidas que afecta selvas, bosques o vegetación de zonas áridas o semiáridas (Cenapred, 2001).

El peligro de un incendio forestal estará definido por las circunstancias permanentes y transitorias que lo hacen posible. Los factores permanentes incluyen: a) la composición de los combustibles, b) las especies vegetales y c) la topografía. Mientras que entre los factores transitorios se encuentran: a) la temperatura, b) la humedad relativa, c) la velocidad y la dirección del viento, y d) la precipitación (Myers, 2002; Baker, 1993, Kushla y Ripple, 1997). Cuando se conocen dichas circunstancias, se pueden realizar predicciones para obtener un indicador de peligrosidad de ocurrencia de incendios forestales; por lo que con el análisis de los factores permanentes o constantes podemos predecir dónde puede producirse un fuego y los factores que determinarán su evolución (Myers, 2002).

*La topografía y el combustible* (el tipo, la estructura, la humedad, la acumulación, la densidad, la flamabilidad, y la continuidad) juegan un rol vital en el régimen de fuego (Myers, 2002). La *topografía* se define como la configuración de la superficie terrestre, y los factores topográficos que influyen en el comportamiento de los incendios son: a) *La pendiente o inclinación del terreno*; que afecta directamente la propagación del incendio. La forma de propagación que adopta un incendio es influida por la pendiente, ya que ésta ejerce una fuerza similar a la del viento. Las pavesas rodantes son más frecuentes en las pendientes mayores y se pueden originar incendios secundarios (Cenapred, 1999). b) *La altitud o elevación*; un incendio en una montaña y uno a nivel del mar muestran características distintas en la evolución del fuego. c) *La exposición*, ésta se define como la orientación de una ladera hacia cualquiera de los puntos cardinales. Para el caso de México la exposición hacia el sur recibe mayor cantidad de luz y radiación, por lo tanto, en esos flancos las temperaturas son más altas, la humedad relativa es menor y los combustibles más ligeros y secos, lo cual favorece una mayor frecuencia de los incendios que su contraparte norte. d) *La configuración topográfica*, es la morfología de la superficie del terreno (plano ondulado o escarpado), y es importante porque afecta la propagación del fuego y por consiguiente la respuesta de su control (Cenapred, 1999). e) *El clima*, controla directamente el fuego a través de la regulación, acumulación y estructura del combustible (Campbell y Flanigan, 2000). La alta frecuencia de los sistemas de alta presión determina un mayor número de años con poca humedad y condiciones secas que conducen a una alta actividad de fuego en el área. En resumen, las variables de tiempo y los patrones de circulación de la atmósfera influyen la presencia y comportamiento de la actividad del fuego (Anderson et al., 2000).

Sin embargo, las características de los combustibles son 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 (Cenapred, 1999). Los combustibles juegan un papel central en el proceso de encendido de la biomasa vegetal, debido a que es el conductor básico de encendido del material combustible actual (Shvidenko y Nilsson, 2000). La cantidad y estatus de los combustibles forestales son un factor importante que definen el tipo de incendio, su intensidad y sus efectos, debido a ello se han sugerido diferentes clasificaciones de los materiales del bosque o combustibles. Algunas toman en cuenta el tipo de fuego forestal y la conexión entre los combustibles forestales, también se incluye el material inicial y el ya transformado. El primero incluye el material de copa y la vegetación del suelo; y el segundo incluye combustibles superficiales (hojarasca, y madera muerta en pie) y la materia orgánica del suelo (Anderson et al., 2000). La composición química y física de la estructura del combustible, además del contenido de humedad del suelo tienen un rol significativo determinando la ignición, a una temperatura y longitud de tiempo específicas. Mientras que la humedad del combustible no sólo afecta directamente la ignición, también afecta la sobrevivencia y aparición de los incendios (Anderson et al., 2000).

Los patrones de encendido dependen de factores que incluyen la humedad y la existencia de continuidad en el combustible. Para evaluar la influencia del tamaño y textura del combustible en el comportamiento del incendio es importante saber la cantidad de masa existente en cada categoría según sus dimensiones: a) *Fino o ligero*: hojarasca, pastos, acículas etc. b) *regular*: ramitas y tallos pequeños de arbustos. c) *Mediano*: ramas. d) *Grueso o pesado*: tocones, troncos, ramas gruesas etc. e) *Continuidad horizontal*. Se refiere a la distribución de los combustibles en la superficie: lateralmente si están repartidos de

manera uniforme (Cenapred, 1999). Con este conocimiento de la propagación del fuego a través del combustible se pueden inferir sus propiedades, se conoce si existió suficiente combustible, su tamaño, arreglo espacial y grado de humedad específico (Cenapred, 1999).

### **El régimen de fuego**

El régimen de fuego es un conjunto de condiciones de frecuencia y variabilidad con las cuales el fuego se presenta en un ecosistema forestal. El régimen de fuego se caracteriza por sus causas naturales y/o humanas, tipos de incendios (superficial, subterráneo, aéreo), intervalo de intensidad, distribución y la época del año en que el fuego se presenta (Myers, 2002). Las causas de los cambios en el régimen de fuego son principalmente el clima, y las de origen antrópico. Las variaciones o alteraciones que puede sufrir un régimen de fuego ocurre cuando el ser humano ha modificado la frecuencia de los incendios y su variación (exceso o exclusión del fuego), influyendo así en la etapa sucesional o el grupo de etapas sucesionales que el régimen original mantenía (Myers, 2002; Rodríguez y Fulé, 2003).

Desde una perspectiva ecológica, el régimen del fuego se divide en 2 grupos. 1) regímenes vagos, en los cuales la disminución o aumento conducen a una eventual desertificación o reforestación de las áreas quemadas. 2) los regímenes tolerantes, los cuales soportan la restauración de los tipos de bosque originales y sus asociaciones (Peterson, 2002).

Los componentes de un régimen de fuego son: *a) El tipo de incendio*, se caracteriza según la parte afectada de la vegetación, por lo que se clasifican en subterráneos, superficiales y aéreos. *b) La frecuencia*, la cual es definida como el número de incendios por unidad de tiempo en un área específica (Nicklasson y Granström, 2000). *c) El comportamiento del fuego*, se refiere su intensidad y tasa de propagación. *d) La severidad*

se refiere al impacto que causa en la vegetación, la fauna y los suelos. Algunos de los indicadores de la severidad del fuego están en función de la intensidad del fuego y su duración en un lapso de tiempo determinado. *e) La ocurrencia*, es la aparición de los incendios en una época o estación del año determinada, o con relación a eventos meteorológicos. *f) El tamaño*: es la extensión de los incendios y su regularidad o irregularidad (Myers, 2002). *g) La intensidad del fuego*, se define a la manera en que el tamaño del fuego está directamente relacionado con el calor radiado de los troncos de los árboles o el nivel de consumo de la hojarasca y el mantillo, pues el nivel de abrasión está directamente relacionado con la mortalidad de los árboles (Shvidenko y Nilsson, 2000; Myers, 2002).

Debido a lo anterior, se han establecido cuatro tipos de severidad de los incendios, y que son fácilmente distinguidos en campo para caracterizar la heterogeneidad de los incendios: *1) No incendiados*, donde los efectos del fuego son nulos o muy pequeños. *2) Incendios superficiales*, donde los árboles jóvenes generalmente sobreviven y retienen algunas hojas, a pesar de que el tallo es quemado y la capa de suelo orgánico permanece intacta. *3) Incendios superficiales severos*. *4) Incendios de copa*, en los cuales hay una gran mortalidad de árboles y la capa orgánica del suelo es completamente consumida (Turner et al., 1997; Myers, 2002).

La intensidad de un incendio puede variar por diferentes factores, por ejemplo la temperatura de la noche reduce el viento y los incendios se extienden menos vigorosamente durante la noche que durante el día. La cantidad de combustible varía con la localización, porque la cantidad de la luz solar produce diferentes niveles de sequía en el paisaje (Shvidenko y Nilsson, 2000; Myers, 2002). Los fuegos normalmente no afectan áreas que han sido quemadas recientemente debido a que la presencia de fuegos anteriores detiene a

los nuevos, eliminando o dejando muy poco combustible disponible. Los fuegos con fuertes vientos algunas veces propician que los árboles se dañen más en unas partes que en otras porque cuando el viento aviva las flamas y gases calientes afectan un lado del árbol más que otro, pues el tronco actúa a manera de una chimenea.

No obstante que la intensidad de fuego es un indicador de sus efectos en el ecosistema forestal, es difícil caracterizarla o cuantificarla debido a que no siempre es posible tener medidas directas de la energía generada por el fuego. De manera similar sucede con los factores que afectan significativamente el comportamiento post-fuego de los ecosistemas forestales (Shvidenko y Nilsson, 2000; Myers, 2002). El daño post fuego se clasifica según las secuelas dejadas en tallos, troncos, suelo, copas o follaje, la mortalidad se expresa en porcentaje de número de árboles muertos, para medir el nivel de daño y efecto ecológico. Las clasificaciones de los daños se usan para entender la naturaleza de los incendios, sus consecuencias ecológicas y la organización del bosque y la protección contra el fuego, lo cual se usa para describir los patrones básicos del fuego (Shvidenko y Nilsson, 2000).

En conclusión, la diversidad de los tipos de bosques, las condiciones de crecimiento, las particularidades del paisaje, la estructura y la productividad primaria del bosque, y los tipos de impacto antropogénico definen las características del fuego. Existen muchos métodos para describir el fuego, incluyendo su distribución, intensidad e impacto ecológico en los ecosistemas terrestres y el paisaje. Para un paisaje en específico, las regularidades del clima y la humedad, la dinámica de los procesos de la atmósfera, la cobertura vegetal, los cambios en la fenología del bosque, la fuente de ignición del fuego, y el nivel de protección del ecosistema, contribuyen a la regularidad de la ocurrencia del fuego (Shvidenko y Nilsson 2000).



## **El efecto del cambio climático y la variación climática en el comportamiento de los incendios**

La situación de los incendios en los trópicos puede estar exacerbándose por el cambio climático tanto a nivel regional como mundial (Baker, 2003; Cochrane, 2002). Los modelos basados en una duplicación de los niveles actuales de CO<sub>2</sub>, en los años de *El Niño*, muestran una tendencia general hacia el calentamiento. Es probable que este calentamiento mundial cambie las condiciones actuales de los incendios en los trópicos (Cardoso et al., 2004). Las interacciones entre el cambio de clima y el uso de la tierra pueden dar como resultado modificaciones en el régimen de perturbación de regiones tropicales densamente pobladas, las cuales pueden acabar con los bosques y reemplazarlos con sabana de plantas herbáceas (Cochrane, 2002). Durante el episodio de *El Niño* la lluvia se incrementa dramáticamente en ciertas áreas del mundo, provocando que el número de fuegos (a través de una alta densidad de rayos que causan igniciones) y en el tamaño de fuegos individuales se incremente (Nicklasson y Granström, 2000), y en otras regiones causa severas sequías (Holmgren et. al, 2001) lo cual favorece la aparición de los incendios forestales. La aparente sincronización del cambio climático en el pasado y la falta de sincronización en el presente revelan la necesidad de investigación del fuego y la dinámica del clima en los ecosistemas (Larsen, 1997). Existe cierta disminución del fuego en algunas regiones donde aumenta la precipitación, mientras que otras regiones registran un dramático incremento en la frecuencia del fuego cuando el cambio climático cambia la circulación general de la atmósfera (Stocks et al., 1998). Por otro lado, la cantidad de igniciones está directamente influenciada por los cambios del clima pues tiene relación directa con la temperatura de la superficie terrestre y los rayos (Anderson et al., 2000). Esta situación podría empeorar si los eventos de *El Niño* se hacen más frecuentes y/o intensos junto con el calentamiento global.

Los periodos prolongados de sequía ocasionados por *El Niño*, pueden hacer que enormes extensiones de bosque tropical perennifolio virgen (p.e en el Amazonas) se vuelvan susceptibles a los incendios (Cochrane, 2002).

El fuego es un componente integral del ciclo del carbono, ya que tiene potencial para afectar a los ecosistemas por un periodo largo de tiempo por la combinación de un legado de fuegos múltiples que condicionan el balance del carbono de los ecosistemas terrestres a una escala regional y continental (Hicke et al., 2003). Dependiendo de la frecuencia, de la severidad y extensión de cada fuego los niveles de carbono se alteran respondiendo a las variaciones mencionadas (Tilman et al., 2000). Como consecuencia de la disminución del fuego en los bosques y el incremento del carbono (en suelo, la hojarasca, el mantillo y la materia orgánica) se genera una gran variedad de parches en diferentes etapas fenológicas y distinta cantidad de carbono lo que afecta el secuestro total en el ecosistema (Tilman et al., 2000).

El humo liberado por los incendios de los bosques tropicales puede tener implicaciones a escala regional y continental. Específicamente, además de reducir la precipitación, el humo provocando por los incendios (p.e al sur de México en 1998) afecta las cargas atmosféricas (Contreras et al., 2003; Cochrane, 2002) e incrementa la cantidad de relámpagos positivos nube-tierra hasta EE.UU. y Canadá (Cochrane, 2002). La conjunción de las condiciones de mayor sequía con más igniciones provocadas por relámpagos podrían aumentar los incendios en los bosques cargados de combustibles (Cochrane, 2002). Investigaciones recientes también han demostrado que el humo de los incendios tropicales evita la lluvia regional al crear un acceso de núcleos de condensación de nubes que producen gotas de agua tan pequeñas las cuales no pueden precipitarse.

En conclusión, el cambio climático a nivel regional y mundial puede alterar significativamente los regímenes de perturbación en los bosques fragmentados y transformados por el hombre. Dichos cambios sólo exacerbarán la retroalimentación positiva establecida en la dinámica de los incendios en los trópicos, especialmente a unos kilómetros dentro de los lindes deforestados (Cochrane, 2002). La deforestación puede contribuir a la sequía de la región al reducir los niveles generales de evapotranspiración durante los meses más secos, favoreciendo con ello la presencia de incendios forestales (Cochrane, 2002).

### **El fuego en los ecosistemas**

Entre los factores de disturbio que influyen en la estructura, funcionamiento y dinámica de los ecosistemas terrestres, el fuego es sin duda uno de los más importantes (Villers y López, 2004). La investigación ecológica ha demostrado que también existe una importante variación en los regímenes de fuego y en la respuesta de los ecosistemas y sus componentes a los efectos de los incendios (Villers y López, 2004). El papel ecológico del fuego es un fenómeno complejo, cuyo entendimiento es fundamental para diseñar estrategias específicas de conservación y restauración ecológica, así como el manejo silvícola, bajo las diversas condiciones ecológicas y sociales de las áreas forestales (Villers y López, 2004). El impacto del fuego es una de las variables que controla la composición de especies y el funcionamiento de los ecosistemas terrestres (Tilman et al., 2000). En los efectos del fuego se incluye tanto una reducción de la productividad primaria neta, cambios en la composición y diversidad de especies del ecosistema (Hicke et al., 2003).

Por otro lado, el fuego es una agente que influye en la heterogeneidad estructural de los bosques, la cual es esencial para el mantenimiento de la biodiversidad, por lo tanto, la

modificación de un régimen de fuego provoca cambios en la composición de especies y la estructura de los bosques (Villers y López, 2004). En los bosques templados, algunas especies vegetales requieren de la acción del fuego para germinar (bosques de pino-roble; pino-roble-liquidambar); además, los incendios pueden eliminar plagas que afectan a algunas especies y reducir la competencia entre especies (Rodríguez y Fulé, 2003; Cenapred, 1999). Asimismo, en los ecosistemas mantenidos por el fuego, cambios en el régimen de fuego (frecuencia y variabilidad) provocan cambios de estado (Myers, 2002). Los controles de distribución del fuego determinan en gran medida la diversidad de especies de plantas y la composición de comunidades vegetales regulan la acumulación de combustible, la etapa sucesional y el paisaje resultante (Myers, 2002). En contraste, en ecosistemas independientes del fuego, su régimen no tiene ningún papel importante en su estructura y funcionamiento (p.e los desiertos y dunos de la Reserva de la Biosfera El Pinacate, Sonora México; Sánchez, 2001) (Myers, 2002; Román-Cuesta, 2002).

En algunas áreas el fuego excesivo ha contribuido a la degradación del hábitat y a la deforestación. En otras áreas los fuegos frecuentes pero de baja intensidad facilitan la regeneración y mantienen una estructura abierta del ecosistema (Rodríguez y Fulé, 2003). El fuego forestal es un factor importante para definir las características del paisaje, incluyendo las condiciones microclimáticas de la capa superficial de la atmósfera (luz, humedad, viento), la temperatura y la humedad de las capas superficiales del suelo y sus propiedades químicas (Shvidenko y Nilsson, 2000). Una evidencia del impacto del fuego es la cantidad de combustible consumido, que causa una dramática disminución de la flamabilidad del bosque (Bourgeau et al., 2000).

El fuego juega un rol vital en el ciclo de nutrientes del bosque. La quema de la materia orgánica da como resultado la mineralización directa de nutrientes del suelo. Los

efectos después del fuego incluyen el incremento de la temperatura del suelo y reducción de la actividad microbiana, causando la liberación de materia orgánica (Bourgeau et al., 2000). La cantidad de biomasa consumida durante un incendio, y las variaciones en la severidad del fuego tienen una fuerte influencia en los patrones de la temperatura del suelo después del fuego (Kasischke et al., 2000). Por otro lado, la supresión del fuego conduce a una acumulación de los combustibles forestales, aumentando la severidad de los efectos de los incendios. Puede decirse que tanto la falta de fuego como su exceso son factores de deterioro en los ecosistemas forestales (Villers y López, 2004).

En grandes escalas como son las regiones de Oaxaca, el fuego afecta la heterogeneidad del paisaje, cambia el balance de carbono del bosque y las propiedades atmosféricas por la emisión de gases traza, así como sus efectos sobre el clima. En escalas geográficas locales como son los grupos de vegetación, el fuego modifica los estados sucesionales de los ecosistemas, las propiedades físicas y químicas del suelo y los patrones de regeneración (Turner et al., 1997).

El impacto del fuego sobre los ecosistemas es variable a través del tiempo y del espacio. Frecuentemente, los fuegos de baja intensidad son sustancialmente diferentes de efectos de los fuegos de alta intensidad. Los fuegos pequeños crean mosaicos en los ecosistemas que difieren en composición y estructura de los de grandes fuegos.

### **El análisis espacial**

La Geografía estudia los diversos factores que explican la configuración espacial y el funcionamiento del territorio (Chuvieco et al., 1998). El fenómeno de los incendios forestales tiene una clara manifestación territorial, ya que tanto los factores como los efectos del fuego se distribuyen en el espacio. Asimismo, la estructura territorial (relieve,

suelo, clima, aspecto, vegetación, etc.) influye sobre la dinámica de los incendios forestales. Por otro lado, la geografía se centra en el análisis de aquellas variables que tienen una clara dimensión territorial, o bien en el estudio de relación entre diversas variables espaciales en un territorio concreto, por lo cual tiene un interés especial en los distintos procesos que afectan la configuración actual del paisaje (Chuvieco et al., 1998). Una vez que se produce un incendio, nuestra disciplina se orienta a evaluar las consecuencias del mismo desde una perspectiva espacial y temporal. Esto implica, por un lado cuantificar y cartografiar el área quemada, y por otro, analizar los efectos paisajísticos del fuego, particularmente, las relaciones entre área quemada y su patrón espacial (Chuvieco et al., 1998).

El análisis de los incendios se hizo, en este estudio, desde una perspectiva regional tomando en cuenta que una región es una porción de territorio determinada por caracteres étnicos o especiales circunstancias de clima, producción, topografía, administración, gobierno etc (Dicc. Salvat). A veces como en este caso cada región incluye varios tipos de paisaje y cada uno así como el territorio de la región es el resultado de muchas causas, incluyendo la variabilidad en las condiciones abióticas como el clima, la topografía, y los suelos; el uso de suelo y la dinámica de los disturbios naturales y la sucesión, además de los patrones pasados y presentes de la organización humana y del uso de suelo (Turner et al., 2001; Nicklasson y Granström, 2000).

Los disturbios pueden ser un recurso fundamental en la estructura del paisaje, sumado a los cambios intencionales y no intencionales en los regímenes de disturbio que también pueden alterar dramáticamente la dinámica de los ecosistemas (Turner et al., 2001). Por ejemplo la gran diversificación y alteración de los patrones de los incendios forestales crean una gran diversificación y alteración de los patrones en el paisaje, lo que propicia la formación de nuevos mosaicos en el ecosistemas (Fuller, 1991).

En grandes escalas espaciales, el fuego es un disturbio que produce cierta heterogeneidad por la creación de parches quemados y no quemados (Peterson, 2002). Esta la variabilidad natural producida por el fuego a través del paisaje es una fuente importante de la heterogeneidad de las comunidades de plantas (Turner et al., 1997) y del comportamiento posterior de los incendios (Binkley et al., 1993).

Para explicar la distribución espacial del fuego se recurre a los patrones y procesos que influyen y modifican la dinámica paisajística (Myers, 2002). Los patrones espaciales y temporales de fuego son variables importantes, porque ellos determinarán el estatus sucesional, la distribución por edad y el grado de la cobertura de la vegetación del paisaje (Nicklasson y Granström, 2000).

El fuego es un fenómeno contagioso desde el punto de vista espacial. Los procesos de disturbios contagiosos espaciales (incluyen las plagas, el fuego y la actividad de herbívoros) se propagan por sí mismos a través del paisaje. En contraste, en los disturbios no contagiosos como las tormentas de nieve y los huracanes, el alcance y duración del disturbio está dinámicamente determinado por la interacción del disturbio con el paisaje (Peterson, 2002). Por lo tanto, los cambios en el patrón paisajístico pueden alterar la naturaleza del régimen del disturbio contagioso, pero no alterarán el régimen de un disturbio no contagioso. Por ejemplo, la fragmentación de un bosque por la creación de caminos impide la propagación del incendio, pero no determina el paso de un huracán. Una consecuencia de esto es que las mismas fuerzas conductuales producen diferentes comportamientos de disturbios en el paisaje con diferentes patrones espaciales (Peterson, 2002). Las fuentes de alteración del régimen de fuego producen una respuesta espacial heterogénea, la condición del paisaje en el momento del disturbio puede alterar la localización y el tiempo de respuesta (Baker, 1993).

Un disturbio natural como el fuego es usado como un guía importante de la composición de un ecosistema, ya que se presenta en eventos pequeños y frecuentes o grandes e infrecuentes, ésta definición se basa en los patrones de los tamaños, intensidades y frecuencias del disturbio (Romme et al., 1998; Baker, 1995; He et al., 2002). En los grandes paisajes, los disturbios poco frecuentes y los patrones espaciales resultantes, estructuran el paisaje a futuro hasta que ocurre un nuevo disturbio. La erupción del volcán Santa Helena y los incendios de Yellowstone en 1998 son ejemplos de que los grandes disturbios están establecidos por las plantillas de especies y por los procesos del ecosistema en estos paisajes en décadas o incluso en los siglos por venir (Turner et al., 2001). Por ejemplo, argumenta que la distribución de las islas de árboles y penínsulas en la Florida es la consecuencia de la distribución espacial de los fuegos en el largo plazo (Christensen, 1993).

Los disturbios son una parte importante e integral en muchos de los ecosistemas y los paisajes, porque crean patrones en la vegetación produciendo mosaicos de diferentes etapas sucesionales; forman parte de su estructura y funcionamiento. Por ejemplo, los huracanes contribuyen al mantenimiento de la diversidad de especies en muchos de los bosques tropicales, y los fuegos frecuentemente mantienen a algunos paisajes como las praderas. Lo anterior, se debe a que los disturbios alteran los niveles de recursos como luz y nutrientes, crean espacios abiertos, crean parches en el paisaje. El manejo por parte del ser humano de los ecosistemas imita los patrones espaciales y temporales de los disturbios naturales, pero lamentablemente reducen los efectos benéficos que estos producen (Turner et al., 2001).

La explicación espacial del fuego a través del tiempo en el paisaje es importante ecológicamente, pues un análisis espacial detallado ofrece la posibilidad de revelar los



distintos tipos de influencias sobre los regímenes de fuego (p.e la velocidad de propagación del fuego y sus causas por el tipo de vegetación o nivel de humedad del combustible) (Nicklasson y Granström, 2000). El régimen de fuego puede ser cuantificado por un número de indicadores explícitamente definidos en espacio y tiempo (p.e la extensión, el promedio de área encendida, densidad de fuegos etc.) (Shvidenko y Nilsson, 2000).

La tendencia temporal vigente de los incendios en el mundo se caracteriza por estar condicionada a la intensidad del uso de la tierra (Stolle y Lambin, 2003). La frecuencia y la regulación de las igniciones, ya sea por causas naturales o antrópicas, pueden jugar un rol vital en el régimen de fuego (Flannigan et al., 2000). En México, los incendios están fuertemente relacionados a los ritmos estacionales de las quemadas provocadas intencionalmente con fines agrícolas, de pastoreo y de desmonte; sin embargo, los datos disponibles de incendios indican que tienen una tendencia ascendente a través de los años (Quadri, 2005). El análisis espacio temporal de los patrones de un disturbio como los incendios en tiempo y espacio es necesario para determinar sus consecuencias ecológicas, económicas y sociales (Roman-Cuesta et al., 2004., Everett et al., 2000; Badia, 1998).

## **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Los incendios forestales son un fenómeno complejo en términos ecológicos y sociales, cuyo entendimiento es fundamental para el diseño de prácticas de manejo del fuego, sobre todo donde existe la combinación de condiciones de heterogeneidad ambiental, diversidad biológica, intereses de distintos actores sociales, y objetivos de conservación ecológica y desarrollo social (Villers y López, 2004). Como sucede en el Estado de Oaxaca el cual se por ser un área altamente biodiversa, es un buen modelo para el

análisis de incendios debido a que es un reservorio complejo de tipos de vegetación que provee una gran cantidad de servicios ambientales y es sede de una gran herencia biocultural; pero que a su vez experimenta procesos de conversión de uso de suelo drásticos y negativos como son desertificación, deforestación fragmentación del hábitat pérdida de biodiversidad, eventualmente el cambio global y reducción de los servicios medio ambientales (Velásquez et al., 2003). Además, es el estado con mayor superficie afectada por los incendios de 1998 al 2003.

Como ocurre de manera generalizada en México la temporada de incendios en Oaxaca coincide con el periodo interanual de sequía, que abarca desde el mes de diciembre y se prolonga hasta junio (Palacio et al., 1999). La combinación de la sequía y la extendida práctica de la “roza, tumba y quema” contribuyen a la ocurrencia de incendios p.e en 1998 hubo 14 mil eventos que afectaron 530 mil ha, alrededor del 21% de la superficie incendiada correspondieron a zonas forestales y el 79% restante a zonas cubiertas de matorrales y pastos. Estas cifras no tienen precedente por la frecuencia y área afectada (Palacio et al., 1999); lo cual hace indispensable desarrollar el conocimiento acerca de la dinámica espacial y temporal de los incendios en México.

Por otro lado, la causa principal de los incendios en México es la preparación de los terrenos agrícolas antes de las lluvias, a través de la práctica de la “roza, tumba y quema” en las áreas forestales (Palacio et al., 1999). Aunque existen otras razones naturales (p. e., tormentas eléctricas), y las de orden político y socioeconómico (cultivos ilegales y conflictos sociales) (Palacio et al., 1999). Cabe señalar que estas causas son espacialmente diferentes en nuestro territorio. Por ejemplo, en el norte de México (Baja California, Sonora, Chihuahua, Coahuila, Nuevo León y Tamaulipas), los fuegos naturales son más comunes. En estos estados las actividades antrópicas causaron el 20% de los incendios,

mientras que otras causas fueron responsables del 38% de los incendios. En el centro de México (Distrito Federal, Estado de México, Puebla, Tlaxcala y Morelos), las actividades antrópicas y otras causas provocan el 56% y 5% de los incendios respectivamente. Finalmente, en el sur de México (Yucatán, Quintana Roo, Campeche, Chiapas, Tabasco), el 44% de los incendios se debe a causas antrópicas y el 3% a otras causas (Rodríguez y Fulé, 2003).

La importancia del estudio del fuego en la modalidad de incendios forestales se basa en que implica una alteración en el ecosistema, ya sea para la conservación o disminución de la biodiversidad, pues propicia la existencia de hábitats que favorecen la presencia de diferentes especies animales y vegetales, reduce la competencia intra e inter-específica, afecta el proceso de sucesión. Por otro lado, acelera la mineralización de la materia orgánica del suelo contribuyendo con ello a las emisiones de gases de efecto invernadero (Palacio et al., 1999), la destrucción de la cubierta vegetal, la migración de especies, modificación de las propiedades físicas del suelo, la erosión, los cambios en el comportamiento hidrológico del terreno, y la pérdida de la productividad del mismo (Conabio, 2003; Moloney y Levin, 1996; Turner et al., 1997; Palacio et al., 1999).

Evaluar el papel del fuego en un ecosistema a diferentes escalas paisajísticas es importante, pues los procesos que generan cambios importantes en los patrones de la naturaleza ocurren en amplias escalas geográficas y largos periodos de observación, por ello, este estudio se realizó considerando las regiones de Oaxaca. En este sentido no se ha desarrollado un marco conceptual que atienda los patrones espaciales, (dinámica espacial y temporal) y las variaciones que este pudiera presentar, de los fenómenos ecológicos como el fuego, lo cual sería útil para realizar predicciones futuras y desarrollar planes de manejo de acuerdo a las necesidades específicas de cada ecoregión.

## **OBJETIVOS**

### **1. General**

- I. Analizar la dinámica espacial y temporal de los incendios en Oaxaca por región de 1998 al 2003.

### **2. Particulares**

- I. Determinar la distribución espacial de los incendios en México por región.
- II. Determinar la distribución regional de los incendios por estrato arbóreo, ecosistema afectado y tipo de evento en el estado de Oaxaca.
- III. Determinar la distribución temporal de los incendios en el estado de Oaxaca por región.
- IV. Determinar las causas de los incendios en el estado de Oaxaca por región.

## **MÉTODOS**

### **1. Sitio de Estudio.**

El Estado de Oaxaca, está situado en el sector sureste de la República Mexicana, perteneciente a la región del Pacífico Sur. El estado de Oaxaca representa el 4.8 % de la superficie del país. Oaxaca colinda al norte con Puebla y Veracruz; al este con Chiapas; al sur con el Océano Pacífico y al oeste con Guerrero. Sus coordenadas geográficas extremas son: 18°39', 15°39' de latitud norte; 93°52', 98°32' de longitud oeste (INEGI, 2004).

Algunas partes de ciertas regiones fisiográficas muy importantes del país conforman el Estado de Oaxaca. Estas son: el Eje Neovolcánico: al Sur de Puebla con el 0.84% de la superficie estatal; la Sierra Madre del Sur: en la Cordillera Costera del Sur con el 17.63 % de la superficie estatal, las Sierras Orientales con el 29.09% de la superficie estatal, las

Sierras Centrales de Oaxaca con el 7.50% de la superficie estatal, la Mixteca Alta con el 6.96% de la superficie estatal, las Costas del Sur con el 11.66% de la superficie estatal, las Sierras y Valles de Oaxaca 7.19% de la superficie estatal; La Llanura Costera del Golfo Sur: la Llanura Costera Veracruzana con el 7.41% de la superficie estatal, las Sierras de Chiapas y Guatemala: en las Sierras del Norte de Chiapas con el 0.25% de la superficie estatal; la Cordillera Centroamericana: con las Sierras del Sur de Chiapas con el 6.66% de la superficie estatal; la Llanura del Istmo con el 4.81% de la superficie estatal (INEGI, 2004).

El estado de Oaxaca se caracteriza por tener climas cálidos con lluvias todo el año, y lluvias en verano; climas cálidos subhúmedos con lluvias en verano, y lluvias todo el año. Climas Semicálidos y Semicálidos húmedos y con abundantes lluvias en verano. También Templados húmedos y subhúmedos con abundantes lluvias en verano. Existen climas semifríos subhúmedos con lluvias en verano, climas semisecos muy cálidos, semicálidos y templados, además de secos muy cálidos y cálidos (INEGI, 2004).

Respecto a la vegetación; el pastizal ocupa el 8.27% de la superficie estatal, con especies como *Cynodon plectostachyu*, (estrella africana); *Bouteloua*, (navajita); *Bouteloua chondrosioides*, (navajita morada) y *Hyparrhenia rufa*, (jaragua); son usadas como forraje. El bosque ocupa el 38.92% de la superficie estatal, se componen de especies como: *Pinus oocarpa*, (ocote); *Quercus*, (encino-roble); *Quercus crassifolia*, (roble); *Pinus michoacana*, (pino escobetón), las cuales son especies maderables. La selva ocupa el 37.06% de la superficie estatal, *Bursera*, (copal), cuajilote; *Ceiba*, (pochote, mosmot), *Amphipterygium adstringens*, (cuachalala); *Bursera fagaroides*, (papelillo amarillo); *Terminalia amazonia*, (canshán, sombrerete). Mientras que otras especies ocupan el 1.53% de la superficie estatal,

*Brahea*, (palma); *Brahea dulcis*, (palma de sombreros); *Byrsonima crassifolia*, (nanche); *Curatella americana*, (tachicón, hojamán) (INEGI, 2004).

## **2. Base de datos**

Para este estudio se cuenta con una base de datos histórica de incendios proporcionada por la Comisión Nacional Forestal (Conafor) dividida en dos partes. La primera, incluye datos a nivel nacional de los incendios en México de 1970 al 2003, además se obtuvo también una relación de los incendios de 1998 al 2003 por cada estado de la República Mexicana. La segunda, es una base de datos de incendios del estado de Oaxaca de 1998 al 2003, que consiste en una lista numerada de incendios por municipio, localidad y la región donde se presentan; la fecha, la causa, el tipo de ecosistema y el nivel arbustivo afectado, el tipo de incendio, y la superficie afectada en hectáreas clasificada en superficie arbolada (renuevo y arbolado adulto) y no arbolada (matorrales-arbustos y pastos), así como el número total de incendios.

Por otro lado se obtuvo la base de datos de los puntos de calor localizados en la República Mexicana publicados en su página electrónica con la cual se realizó la cartografía y el análisis de la distribución de estos puntos en el Estado de Oaxaca.

Finalmente se usaron los datos de temperatura máxima, temperatura, mínima, temperatura promedio y precipitación de cuatro estaciones meteorológicas localizadas en el estado de Oaxaca, así como los datos de anomalías registradas en la temperatura superficial del mar, todo esto con el fin de para realizar un análisis estadístico de relación de factores climáticos con la presencia de incendios.

### 3. Manejo y análisis de datos

La base de datos de la Conafor se procesó de la siguiente manera:

*a)* Se analizaron los datos históricos nacionales de incendios de 1970 al 2003, se obtuvo el número de incendios y superficie afectada por entidad federativa, con el fin de contextualizar el caso de Oaxaca a nivel nacional respecto al tema de los incendios. *b)* Para el estado de Oaxaca se obtuvo el número de incendios y área total afectada de 1998 al 2003 para cada región de Oaxaca. *c)* Se analizó la distribución, el número y la superficie afectada por incendios por cada año de estudio. *d)* Se analizó el número de incendios y la superficie afectada por estrato arbóreo de cada región. *e)* Se analizó el número de incendios y la superficie afectada por tipo de ecosistema y estrato más afectado. Cabe señalar que los ecosistemas fueron determinados por la misma Conafor, se infiere que se realizó esta clasificación con la finalidad de establecer grupos principales con características definidas del tipo de vegetación impactada por los incendios. *f)* Se analizó el número de incendios y la superficie afectada por tipo incendio y estrato más afectado de igual manera esta clasificación fue definida por la Conafor. *g)* Se obtuvo el número de incendios y la superficie afectada mensual (diciembre a julio) en Oaxaca por año de estudio. *h)* Se obtuvo el número de incendios y la superficie afectada por incendios de cada mes, por región y estrato arbóreo. *i)* Se analizó la superficie afectada y el número de incendios por causa de los incendios de cada región. *j)* se analizó la distribución mensual de las causas de los incendios por mes (superficie afectada y número de incendios). *k)* se obtuvo la superficie estatal y regional en  $\text{km}^2$  y se obtuvo el porcentaje de la superficie estatal y de cada región afectada por incendios. *l)* Se obtuvo el área total incendiada por región para cada año de estudio. *m)* Se obtuvo el número de incendios por  $\text{km}^2$  de cada región por año. *n)* Se clasificó a los incendios por tamaño en 6 categorías. *o)* Se obtuvo el tamaño promedio de

los incendios por año de cada región. *p)* Se realizó un análisis de regresión entre el número de incendios y la superficie afectada por estrato arbóreo. *q)* Se realizó un análisis de regresión para verificar la relación directa entre el número de incendios y la superficie afectada por año.

Cabe señalar que en algunos casos, en la base de datos original, no se especificaba la región donde se localizaban los incendios, por lo que fueron catalogados como incendios “sin región especificada” o “sin región”. El mismo caso ocurrió cuando no se especificó, el tipo de ecosistema donde se localizaron los incendios, el tipo de incendio, por lo que a algunos eventos se les catalogó como incendios “sin tipo de ecosistema” o “sin tipo específico”.

Para verificar la relación entre los incendios y los factores climáticos se realizó un análisis estadístico de regresión entre las anomalías climáticas de temperatura máxima, temperatura mínima, temperatura promedio y precipitación con el número de incendios. Primero se obtuvieron las anomalías climáticas de cada factor, se escogieron los datos de 4 estaciones meteorológicas localizadas en 4 regiones, la selección se realizó identificando las regiones que contaban con la mayor disponibilidad de datos en los últimos 50 años. Las regiones elegidas fueron Valles Centrales, Sierra Sur, Istmo y Mixteca, las primeras dos son las regiones más afectadas por incendios (ambas superan las 60,000 ha afectadas), y el siguiente par es representativo del resto de las regiones, tanto por superficie afectada como por número de incendios. También se realizó una regresión con los datos del número de incendios mensual de cada región y de las anomalías la temperatura superficial del mar mensual de la región Niño 3.4.



#### 4. Cartografía

El objetivo de este trabajo es analizar la distribución espacio-temporal de los incendios, mediante métodos que permitan cuantificar y visualizar los fuegos de manera individual y exacta, identificando las zonas con mayor densidad de incendios para relacionarlo con el tipo de vegetación. La cartografía del fuego se realizó con la mayor precisión mediante la sobreposición de los datos de puntos de calor de la Comisión Nacional para el estudio de la Biodiversidad (Conabio). Se considera como punto de calor al elemento espacial mínimo de la imagen de satélite, la cual es una representación pictórica de los datos de energía electromagnética, registrados por un sensor. Se usaron las imágenes NOAA-AVHRR que Conabio pone a disposición del público en general por medio de su página electrónica, las cuales tienen una resolución espacial nominal de 1.1 km \* 1.1 km en el nadir. Los satélites NOAA cruzan dos veces por día sobre México, lo que permite obtener 2 imágenes de incendios una diurna y una nocturna. Los puntos de calor (píxel) reportan una temperatura elevada, el valor mínimo para considerar un píxel como punto de calor con imágenes nocturnas es de 25°C; para las imágenes diurnas la temperatura mínima considerada es de 42°C. El uso de datos nocturnos ofrece importantes posibilidades para disminuir, e incluso eliminar la confusión causante con respecto a la localización de incendios mediante imágenes de satélite (Conabio, 2003). Con el fin de proporcionar fidelidad a estos datos se le sobrepone cartografía temática (mascaras de cuerpos de agua, luces y nubes) y se realiza una evaluación estadística para eliminar los puntos de calor con baja probabilidad de ser incendios (Conabio, 2003).

Con los datos de puntos de calor se realizaron dos tipos de mapas. El primer tipo consiste en la compilación de los puntos de calor por año del 2000 al 2003, en versión diurna, y en versión nocturna. El segundo tipo consiste en un compendio de los puntos de

calor de cada mes (enero a junio), uno para la versión diurna y otro para la nocturna y posteriormente se realizó el análisis de cada tipo de mapa. La cartografía resultante definirá la distribución espacial y temporal de los incendios en el Estado de Oaxaca. Consecutivamente en cada mapa se sobrepuso un mapa de vegetación de Oaxaca el cual se basa en el *Conjunto de datos vectoriales de uso de suelo y vegetación, escala 1:250,000 de INEGI del 2000*, con los cuales se obtuvieron 18 grupos de vegetación principales y se realizó el análisis considerando los grupos con 20 o más puntos de calor con el fin de solo tomar en cuenta a los grupos con el mayor número de posibles incendios, los cuales se registraron en una tabla, estos son los grupos:

1. Bosque de encino pino
2. Bosque de encino-pino con vegetación secundaria
3. Bosque de pino con vegetación secundaria
4. Bosque de pino-encino
5. Bosque de pino
6. Bosque mesófilo de montaña con vegetación secundaria
7. Chaparral
8. Área sin vegetación
9. Matorral desértico con vegetación secundaria
10. Cuerpo de agua
11. Selva alta y mediana perennifolia
12. Selva alta y mediana subperennifolia
13. Selva baja caducifolia con vegetación secundaria
14. Selva baja caducifolia
15. Selva mediana caducifolia con vegetación secundaria
16. Otras (Palmares, tulares, popal, vegetación halófila, dunas costeras)
17. Uso agropecuario (cultivos y pastizales)
18. Pastizal inducido

# RESULTADOS Y DISCUSIÓN

## 1. Los incendios en México

### 1.1 Incendios de 1970 al 2003

En México, los incendios se han presentado de manera diferencial a lo largo del periodo 1970-2003 (Figura 1 y 2). En la década 1970-1979 el número total de incendios fue de 51,292 y el área afectada fue de 1,582,040 ha (Figura 1 y 2). El número de incendios por cada año osciló entre los 3,000 y 7,000, y el área afectada entre 70,000 y 250,000 ha. En la siguiente década (1980-1989) el total de eventos fue de 67,807 y la superficie afectada de 2,579,760 ha. En ésta década, se registró una disminución del número de incendios al inicio de la misma (2,740 incendios en el segundo año que impactaron 67,228 ha), con respecto a 1988 con 10,942 incendios y 518,000 ha (Figura 1 y 2). En la década de 1990 a 1999 el número de incendios asciende a 77,677 y registra 2,516,979 ha quemadas. A partir de 1996 los incendios se mantienen estables con más de 7,800 incendios y más de 14,000 ha afectadas (Figura 1 y 2). Al inicio de la siguiente década (2000 a 2003), el total de incendios fue de 31,341 y 903,205 ha quemadas. Estos resultados indican que en México a partir de 1970 se registró un sustancial incremento de la superficie afectada, y en ésta década existe un máximo 250,000 ha impactadas en 1975. En contraste, en los años 90 la superficie afectada fue de 849,632 ha en 1998. Por otro lado, también existe un aumento en el número de incendios, sin embargo, este es menos evidente, por ejemplo en las últimas tres décadas ningún año rebasó los 11,000 incendios, excepto 1998 que registró alrededor de 14,500 eventos. Estos resultados son similares al incremento de los incendios a nivel planetario, ya que los incendios hoy en día tienden a ser más frecuentes, severos y extensos (Cochrane, 2002; Flannigan, et al., 2000; Stolle y Lambin, 2003; Turner et al., 2003; Villers

y López, 2004). En países como Indonesia (Stolle y Lambin, 2003) y Estados Unidos (Christensen, 1989), así como en las regiones del Sudeste Asiático, África, Centro y Sudamérica (Cochrane, 2002), los efectos de los incendios fueron considerables en 1998.

Este aumento en el número de incendios se debe a los cambios sustanciales en las condiciones socioeconómicas y climáticas del mundo que favorecen un mayor número de incendios (Roman-Cuesta et al., 2004; Rodríguez y Fulé, 2003). El factor humano hace que los procesos como la deforestación o el cambio de uso de suelo sean cada vez más drásticos y negativos. En este contexto, el fuego ha jugado un papel fundamental en los procesos mencionados, pues los incendios contribuyen con el 2% de deforestación a nivel nacional, (Conafor, 2005); además, se registran cambios en su comportamiento espacial y temporal. En este sentido el aumento de los incendios y la superficie afectada a nivel nacional en los últimos años obedece a que la población del país demanda bienes y servicios de las áreas forestales y usa el fuego de manera extensiva como herramienta de trabajo en sus actividades agropecuarias (Conafor, 2005). El otro factor que contribuye a la ignición de los incendios, es la realización de actividades como la roza, tumba y quema en el contexto de uso de tierra y de recursos (Villers y López, 2004) en la considerable frontera forestal de cada estado que es susceptible a ser convertida a actividades agropecuarias. La práctica de la roza, tumba y quema es un sistema de agricultura muy difundido y practicado por 250 millones de personas en las áreas tropicales, la cual modifica la estructura del paisaje y también pueden afectar el comportamiento de algunos procesos ecológicos (Metzger, 2003).

Sin embargo, ciertos estudios afirman que también es posible que el cambio climático afecte la frecuencia y la magnitud de los incendios forestales debido al notable incremento de la temperatura del planeta desde 1970 (Piñol et al., 1998). En este sentido,

1998 fue el año más sobresaliente, desde 1970 a la fecha con 14,445 incendios que afectaron a 849,632 ha, lo que representa el 6.33% y el 11.21% del número de incendios y la superficie total afectada respectivamente a nivel nacional en los 33 años de estudio. Por otro lado, 1988 fue el segundo año más afectado, con 518,265 ha incendiadas y 10,900 incendios, lo cual representa el 4.80% de los incendios y el 6.84% de la superficie total afectada a nivel nacional en la últimas tres décadas (Figuras 1 y 2). Estos años con mayor frecuencia e intensidad de incendios están asociados con los eventos del fenómeno de *El Niño*. Durante estos años de *El Niño* un sistema de alta presión dominó los patrones del clima en México y Centroamérica en los meses de marzo a mayo (Cochrane, 2002). Esto ocasionó que las precipitaciones regionales disminuyeran a menos del 25% de su nivel normal y que las altas temperaturas incrementaran. Estas irregularidades climáticas ocasionaron que el régimen de fuego se modificará a nivel nacional y el resultado fue un aumento significativo en la superficie quemada (Cochrane, 2002).

Entre los efectos y las implicaciones del cambio climático sobre los incendios se debe considerar que puede alterar el tamaño de los eventos y esto es provocado por diferentes condiciones de humedad en el paisaje (Nicklasson y Granström, 2000), que a la vez favorecen diferentes condiciones de humedad en la vegetación y que benefician la presencia de material combustible en áreas extensas.

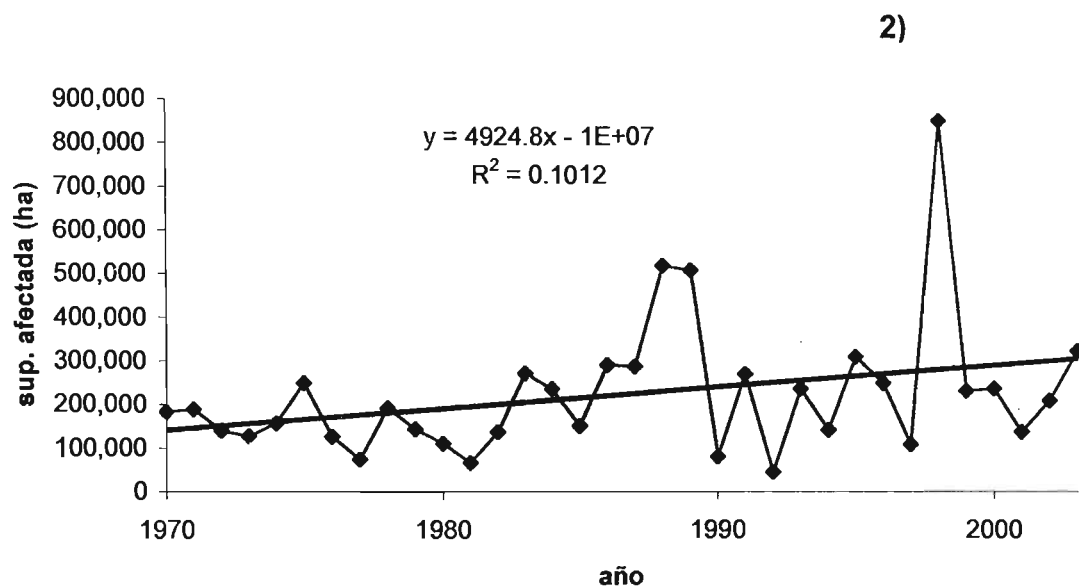
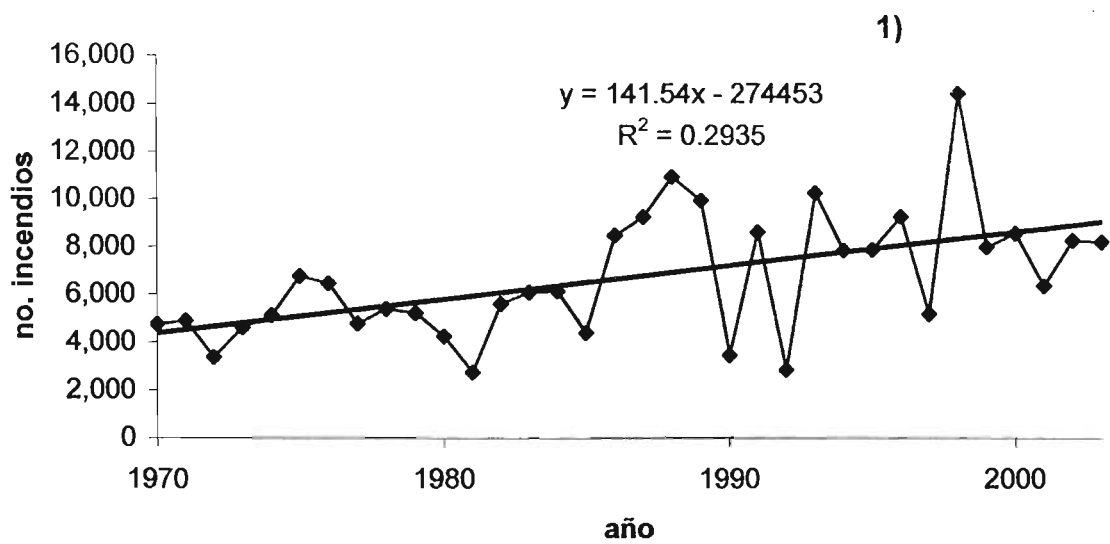
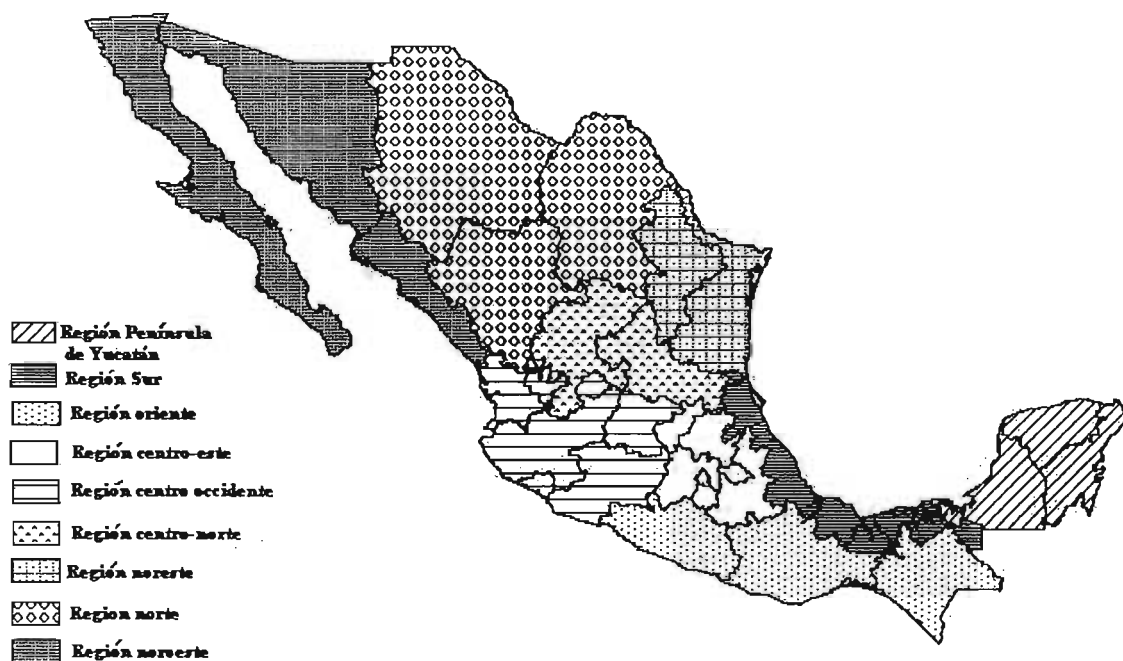


Figura 1) Número total de incendios en México de 1970 al 2003. 2) Área total incendiada en México de 1970 al 2003.

## 1.2 Incendios en México de 1998 al 2003

Los incendios se distribuyeron diferencialmente de 1998 al 2003 en la República Mexicana. Los estados se agruparon de acuerdo a las nueve macrorregiones consideradas así por sus características geográfico-económicas (Bassols, 1997), para facilitar el análisis a nivel nacional. Estas regiones son nombradas así porque se estructuran gracias a las influencia del hombre sobre la naturaleza y no están regidas fundamentalmente por los factores de carácter físico que las conforman. Estas regiones se eligieron para analizar los incendios a nivel estado pues reúnen los caracteres básicos que presentan las zonas económicas, y toman en cuenta la especialización productiva, en el grado de desarrollo y la importancia económica de cada una de ellas, lo cual tienen relación íntima con la utilización de los recursos naturales y su problemática (Figura I.)



**Figura I. Regionalización socioeconómica de México (Macrorregiones), (Bassols, 1997).  
Diseño Laura Merit González Ramírez.**

La región oriente fue la más afectada (con 21,595 eventos); en contraste, la región menos perturbada fue la noreste (510 incendios). Sin embargo, respecto a la superficie incendiada las regiones centro-este y la región sur fueron las más afectadas con 602,941 y 37,451 ha quemadas respectivamente.

La región noroeste abarca los estados de Baja California, Baja California Sur, Sonora y Sinaloa, en los cuales los incendios tuvieron un comportamiento contrastante. El área total impactada en la región fue de 103,547 ha. En Baja California el año 2000 registró 13,810.5 ha quemadas, mientras que en el 2001 tuvo 1,247.32 ha incendiadas. En Sinaloa el 2002 fue el año más afectado (12,596 ha impactadas); en contraste, el estado de Sonora tuvo la mayor superficie incendiada en 1999 (12,509 ha) (Figura 3a). En la región norte, conformada por Coahuila, Chihuahua y Durango, la superficie impactada total fue de 602,941 ha. El estado de Coahuila registró el mayor impacto en el año de 1998 (14,602.8 ha quemadas), mientras que Chihuahua registró una mayor área incendiada en 1999 (49,375 ha). El estado Durango en 1998 fue el más impactado con 68,960 ha quemadas (Figura 3b). En la región noreste, conformada por Nuevo León y Tamaulipas, la superficie impactada total fue de 57,598 ha. El comportamiento de los incendios de 1998 fue catastrófico para ambos estados con 28,155 y 17,826 ha impactadas, respectivamente; mientras que en los años posteriores, en ambos casos la disminución de la superficie afectada es considerable (Figura 3c). En la región centro-norte, conformada por los estados de Zacatecas y San Luis Potosí, la superficie impactada total fue de 69,804 ha, San Luis Potosí registró 27,181 ha quemadas en 1998; en contraste el estado de Zacatecas no registró variaciones importantes en la cantidad de ha quemadas en el periodo de estudio ya que como mínimo se registraron 2,006 y como máximo 7,233 (Figura 3d).



Los estados de Nayarit, Jalisco, Aguascalientes, Guanajuato, Colima, y Michoacán conforman la región centro-occidente, la cual registró 189,930 ha de superficie incendiada, Jalisco fue el estado más afectado con 31,780 ha quemadas en el 2001, mientras que en 1999 solo se contabilizaron 8,377 ha impactadas. Para el estado de Michoacán en 1998 la superficie quemada fue de 25,790. Los estados de Nayarit, Guanajuato, Colima y Aguascalientes registran poca superficie impactada por incendios respecto a los estados de la región anterior ya que ninguno supera las 4,000 ha incendiadas de 1998 al 2003 (Figura 3e). La región centro-este está conformada por Querétaro, Estado de México, Distrito Federal, Hidalgo, Morelos, Tlaxcala y Puebla la superficie impactada total fue de 158,864 ha, el año más afectado fue 1998 en el cual el Estado de México registró 25,846.8 ha quemadas (Figura 3f). En la región oriente se encuentran los estado de Guerrero, Oaxaca y Chiapas y la superficie impactada total fue de 602,941 ha, el estado más afectado fue Oaxaca, con 252,376.3 ha impactadas en 1998. En el caso de Guerrero y Chiapas, la superficie afectada no supera las 30,000 ha en todos los años, por lo que el comportamiento de los incendios se mantiene relativamente estable (Figura 3g). En el caso de la región Sur, conformada por Veracruz y Tabasco, la superficie impactada total fue de 37,451 ha, el estado de Tabasco fue el más afectado por incendios con 13,938 ha quemadas en 1998, mientras que en ese mismo año Veracruz tuvo 9,690 ha impactadas (Figura 3h). La región de la península abarca a los estados de Campeche, Yucatán y Quintana Roo y la superficie impactada total fue de 52,104 ha, la mayor cantidad de ha quemadas se registró en el año 2003, por ejemplo, Campeche y Yucatán registraron 10,221 y 13,413 ha incendiadas, respectivamente. Por otro lado, en 1998 también se registró una cantidad considerable de ha afectadas por incendios aunque en ninguno de los casos se superaron las 5,500 ha (Figura 3i).

Los estados con un mayor número de hectáreas afectadas por incendios no coinciden con los estados con una mayor cantidad de igniciones, lo cual indica que no hay una relación directa entre ellos. En este caso la afinidad espacial y temporal entre los aspectos mencionados no existe porque el tamaño de los incendios es variable y pocos eventos pueden alterar una superficie muy extensa, como en el caso de la región Oriente conformada por los estados de Guerrero, Oaxaca y Chiapas, los cuales se localizan en la costa sur del Pacífico Mexicano. Por ejemplo en Oaxaca el número de incendios no sobresale a nivel nacional, pero la superficie afectada indica que los incendios fueron muy extensos, el estado reporta el 37% de la superficie incendiada a nivel nacional en su territorio. El hecho de que por lo general ésta zona es húmeda, sugiere que sus bosques son particularmente susceptibles a los incendios cuando los niveles de humedad son alterados (Cochrane 2002), como en los periodos de sequía, lo cual permite que los combustibles se tornen más ligeros, flamables y se distribuyan ampliamente.

Por otro lado, los incendios favorecen un aumento de los procesos de cambio de cobertura y uso de suelo que son considerados negativos y que son entendidos como cambio de la cobertura primaria dominante como resultado de la desertificación, deforestación, fragmentación, pérdida de la biodiversidad, del eventual cambio climático y la reducción de servicios medioambientales (Velázquez et al., 2003). La región Sur sobresale por ser la zona con más ha incendiadas, particularmente Oaxaca registra más de doscientas mil ha afectadas, lo cual, es un caso fuera de los común, ya que ninguna entidad del país muestra más de ochenta mil ha impactadas en los seis años de estudio. Esta región no se ha desarrollado como el resto del país, esto no implica que carezca de recursos naturales, por el contrario es la región con mayor biodiversidad, pero se encuentra menos

bien comunicada y no cuenta con centros industriales poderosos por lo cual el uso de recursos y los procesos de conversión no tienen control.

El número de incendios al interior de cada región fue heterogéneo temporal y espacialmente. En la región noroeste el número total de incendios fue de 1,790, el estado de Baja California registró a 1998 como el año más afectado por el impacto de los incendios con 233 eventos. En contraste Baja California Sur registró pocos eventos, pero también 1998 fue el año más afectado con 12 incendios. Sinaloa registró de 81 a 129 incendios de 1998 al 2003. En Sonora, 1998 fue el año que menos incendios registró (26 eventos), pero los incendios en los años posteriores oscilan entre 76 y 95 eventos, y en 2003 solo se presentaron 28 eventos (Figura 4a). La región norte incluye a los estados de Coahuila, Chihuahua y Durango. El número total de incendios en la región es de 7,446. El estado de Coahuila registró de 17 a 54 eventos; mientras que Durango y Chihuahua registran un mayor número de incendios (92 a 436) y (601 a 1,476) respectivamente, los cuales tuvieron lugar en el año de 1999 (Figura 4b). El número total de incendios en la región noroeste es de 510, ambos estados tienen comportamiento similar en la frecuencia de los incendios, por ejemplo, ambos registraron la mayor cantidad de incendios en 1998 con 96 y 91 eventos respectivamente, mientras que el 2001 resultó ser el año menos afectado con 21 y 14 eventos respectivamente (Figura 4c). El número total de incendios en la región centro-norte es de 1,220. El estado de Zacatecas tiene un comportamiento temporal homogéneo, exceptuando el año de 1998 que registró 249 eventos. Mientras que el segundo tuvo un repunte en el año 2003 con 131 eventos (Figura 4d).

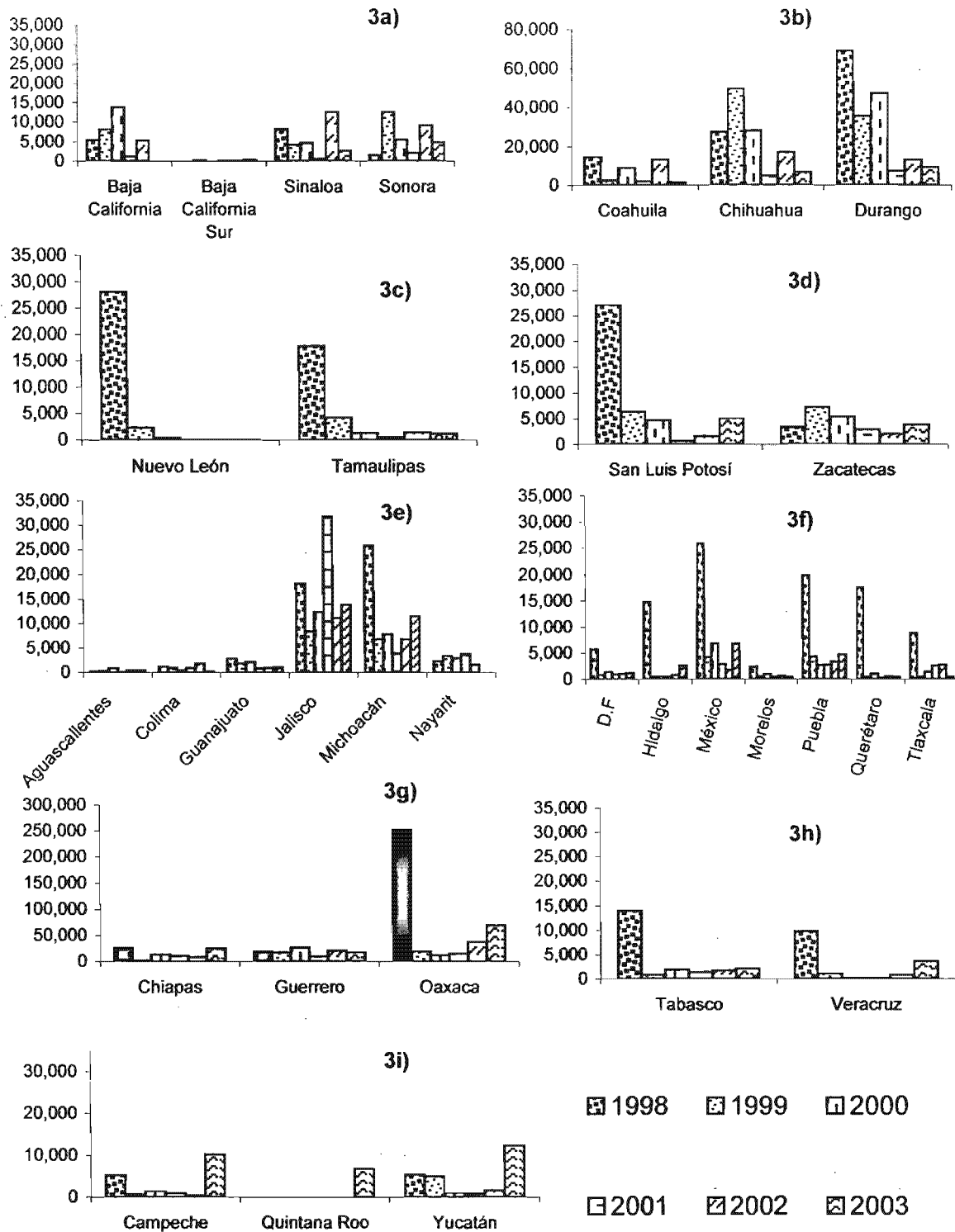
En la región centro-occidente el número total de incendios fue de 9,616. Registran un comportamiento uniforme las siguientes entidades: Nayarit, Aguascalientes, Guanajuato y Colima que registran de 8 a 74 eventos, mientras que Jalisco registró 15 eventos en el

2001, siendo el año más afectado, los demás no sobrepasaron los 550 eventos. En el estado de Michoacán 1998 fue el más afectado (1,793 eventos), en los siguientes tres años hubo una disminución considerable hasta el año 2001 que contabilizó 446 incendios y un repunte posterior hasta el año 2002 con 1,022 incendios (Figura 4e). En la región centro-este el número total de incendios es de 21,595. En estos estados 1998 fue el año más afectado, sin embargo, los estados de México, Distrito Federal e Hidalgo tienen un mayor número de incendios, de 102 a 3,649, con respecto a los estados de Tlaxcala, Querétaro, Puebla, Morelos e Hidalgo que registran de 9 a 544 incendios (Figura 4f).

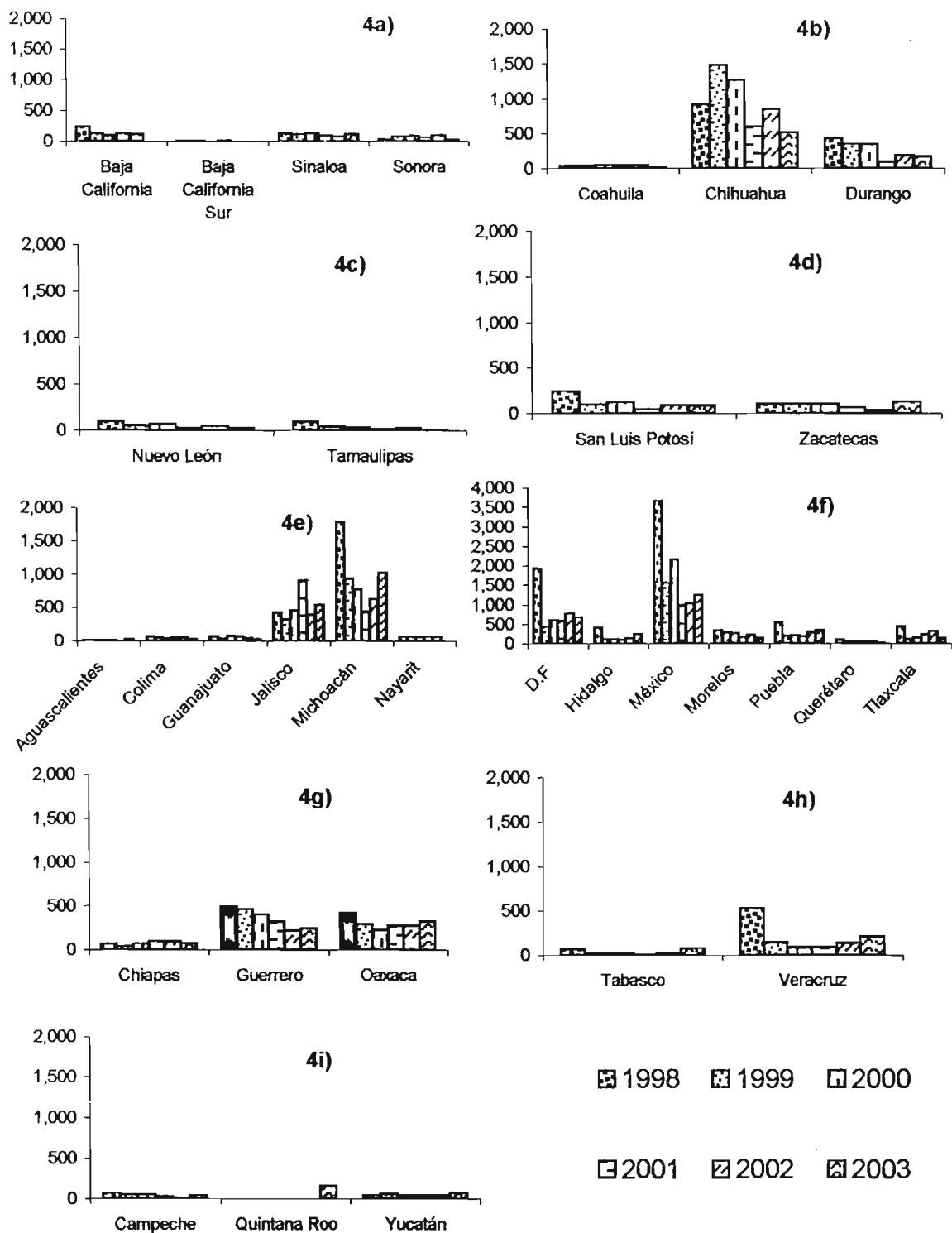
En la región oriente el número total de incendios fue de 4,433. Chiapas es el menos afectado, pues registra de 42 a 105 incendios en los seis años de estudio. Guerrero registró un comportamiento descendente a partir de 1999, ésta tendencia se observa hasta el 2002 con 223 eventos, seguida de un ligero repunte en el 2003 con 244 incendios. Oaxaca reportó 415 incendios en 1998, seguido del 2003 con un total de 327 incendios. En un marcado contraste, en 1999 hubo una disminución considerable (291 incendios), mientras que en el 2000 se registraron 227 eventos; en el 2001 hubo 274 eventos, y en el 2002 tuvo 276 eventos (Figura 4g). En la región sur el número total de incendios fue de 1,424, en la cual se observa que Veracruz registró un gran número de incendios en 1998 (539), seguido del 2000 (84 eventos), existe un repunte en el 2003 (210 incendios). Tabasco registró el mayor número de eventos en el año 2003 con 77 incendios, seguido de 1998 con 67, mientras que el 2001 solo contabilizó 7 incendios (Figura 4h). En la región de la península el número total de incendios fue de 732. En Campeche 1998 fue el año más impactado (76 eventos), seguido de el 2002 (14 eventos), mientras que el 2003 repuntó (47 incendios). En el estado de Yucatán el año más afectado fue el 2003 (72 eventos), mientras que los demás años tuvieron un comportamiento homogéneo (Figura 4i).

Estos datos permitieron analizar la distribución espacial de los incendios en México y revelan que la región Centro conformada por el Estado de México, Michoacán, Hidalgo, Morelos, Puebla, Querétaro, Tlaxcala y el Distrito Federal es la que registra una mayor ocurrencia de incendios. Estos resultados manifestaron que el patrón espacial de las igniciones está determinado por los factores humanos, en la medida en que los incendios se originan donde gran parte de la población se concentra (los estados mencionados suman 28,740,499 habitantes) y lleva a cabo sus actividades de subsistencia. La explosión demográfica en esta región y en otras de América (la cuenca del Amazonas) ha favorecido la vulnerabilidad de estas regiones a la deforestación, con el objeto de crear campos agrícolas o pastizales para ranchos ganaderos y para estos propósitos se ha requerido del uso del fuego (Cochrane, 2002). Esto hace pensar que solamente la distribución más no la extensión de los incendios está determinada por este factor. Ya que como se verá más adelante las áreas incendiadas más extensas se presentan en otras regiones.

Sumado a estos resultados hay que considerar que la disponibilidad de recursos, por la creciente urbanización en esta región incluye una red poderosa de comunicaciones terrestres y aéreas de todo tipo (Bassols, 1997), lo que la hace cada vez más accesible para la transformación de los recursos naturales pero a la vez fomenta que la generación de la información de incendios sea más exacta y completa. Por otro lado se llevan a cabo incendios por la siembra de estupefacientes que afectan considerablemente la cantidad de hectáreas impactadas en todo el país, y aunque se tiene muy poca información, en algunos estados existe evidencia de lo anterior como en Guerrero (La Jornada, 2005), Jalisco (Villers y López, 2004) y Michoacán (Cochrane, 2002). Todos estos factores son importantes para que haya cambios en el régimen de incendios.



**Figura 3. Número de incendios por macroregiones de México de 1998 al 2003. 3a) Nor-oeste, 3b) Norte, 3c) Nor-este, 3d) Centro-norte, 3e) Centro-occidente, 3f) Centro-este, 3g) Oriente, 3h) Sur y 3i) Península de Yucatán.**



**Figura 4. Número de incendios por macroregiones de México de 1998 al 2003. 4a) Nor-oeste, 4b) Norte, 4c) Nor-este, 4d) Centro-norte, 4e) Centro-occidente, 4f) Centro-este, 4g) Oriente, 4h) Sur y 4i) Península de Yucatán.**

## 2. Los incendios en Oaxaca 1998-2003

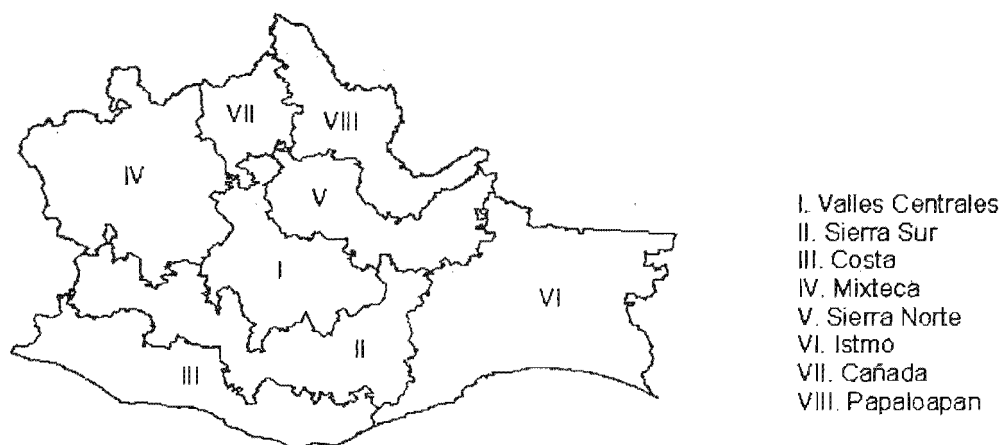
Los incendios en Oaxaca se han presentado de manera diferencial en el periodo de 1998 al 2003. El estado de Oaxaca tiene una superficie aproximada de 93,542.3 km<sup>2</sup>, los incendios afectaron el 4.3% de la superficie del estado (4025 Km<sup>2</sup>) en el periodo mencionado, lo que la caracteriza como la entidad más afectada en el país.

La distribución espacial y de los incendios es uno de los requerimientos más comunes para evaluar el peligro de incendios forestales (de la Riva et al, 2004). Por ello, en este estudio, la distribución espacial y temporal de los incendios se analizó aplicando la regionalización planteada por Conafor que en principio está basada en unidades administrativas y cada una de ellas esta conformadas por tipos distintos de paisajes, este tipo de análisis ya se ha usado para el estudio del riesgo de incendios y el manejo del fuego (de la Riva et al., 2004), lo cual implican una homogeneización de estos aspectos a un solo valor, sin embargo, su utilidad reside en que el análisis del manejo del fuego a escala regional es usualmente un requerimiento en el rubro de toma de decisiones. Por otro lado la confiabilidad de la información de la base de datos es más alta a esta escala ya que a niveles más locales el manejo se dificulta, ya sea por la gran cantidad de municipios o la falta de fidelidad de los datos.

El análisis espacial de los incendios desde ésta perspectiva se basa en que la heterogeneidad espacial es reconocida como la fuerza estructuradora central de los ecosistemas; y de que los disturbios crean y responden a la heterogeneidad espacial, por lo que mucha de la comprensión de los mosaicos ecológicos es resultado de los estudios la dinámica de los disturbios en los ecosistemas. Por lo tanto, el reconocimiento de la dependencia de la dinámica de los ecosistemas a la escala, y de la importancia de la



comprensión del contexto regional de los regímenes de disturbio y de cómo ellos influyen la estructura y funcionamiento de los ecosistemas locales, ayudará a aumentar nuestra comprensión de los disturbios naturales y los inducidos por el ser humano. Por estas razones se usó la regionalización propuesta por Conafor para los incendios forestales la cual incluye las siguientes regiones:



**Figura II. Regionalización del estado de Oaxaca (Conafor). Diseño: Laura Merit González Ramírez**

Del total de la superficie afectada por incendios en esos años, el 2.69% se registró en la región del Istmo, el 0.68% en la Sierra sur, y el 0.22% en la Sierra Norte, en contraste las demás regiones no registraron más de el 1% de su superficie afectada (Tabla 1). La superficie afectada por región para todo el periodo de estudio sugiere que el Istmo, la Sierra Sur y la Sierra Norte registraron el 12.43%, 4.34%, y 2.35% respectivamente de su superficie afectada por incendios (Tabla 1). La superficie afectada fue significativamente

mayor en el año de 1998 y se localizó en la región del Istmo, la cual, registró incendios en el 10.42% de su superficie; seguida de la Sierra Sur (2.07% de la región); la Sierra Norte (1.21%) y la Cañada (1.13%) (Tabla 2). En el resto de las regiones, los incendios afectaron menos del 1% de la superficie de cada una en todos los años del periodo de estudio (Tabla 2). La superficie afectada por región para todo el periodo de estudio sugiere que el Istmo, la Sierra Sur y la Sierra Norte registraron el 12.43%, 4.34%, y 2.35% respectivamente de su superficie afectada por incendios (Tabla 1). La densidad de los incendios en Oaxaca fue variable, y ninguna región muestra una alta densidad, pues la más alta la registra la región de los Valles Centrales con 0.04 eventos por  $\text{km}^2$  de 1998 al 2003, y el resto registra menos de .025 incendios por  $\text{km}^2$ , p.e la Sierra Sur, la Costa, la Sierra Norte y el Istmo (Tabla 3). Lo cual indica que la frecuencia de los incendios es más alta en esta región que en el resto y además nos da una idea de que la superficie afectada también debe conservar esta tendencia. Por otro lado el análisis de estas tablas indica que los incendios se concentran en áreas determinadas, p.e los incendios se presentan preferentemente en el Istmo (los puntos de calor indican más adelante que se localizan preferentemente en la parte oriental de la región), esto sucede aún en los años donde el patrón de los incendios se ha visto alterado (aumento sustancial en la superficie afectada y el número de incendios) como en 1998, la distribución de los incendios no difiere de manera significativa, se presentan en los mismos lugares donde se han presentando en los últimos años, pero son mucho más extensos. Por lo que se infiere y los resultados lo afirman que en condiciones climáticas como en los eventos de *El niño*, que favorecen las condiciones de sequía, las áreas afectadas por incendios se incrementan de forma importante para cada una de las regiones. P.e la superficie incendiada en el Istmo es diez veces mayor en 1998 que en el año 2002 el cual fue uno de los años más afectados pero donde no hubo un evento de *El Niño*. Esto implica

que los cambios más importantes en el patrón de incendios están dirigidos a alterar la superficie incendiada, los resultados de los estudios de Nicklasson y Granström (2000) son similares y coinciden en que el tipo de alteración más común en los regímenes de incendios es un aumento sustancial en la proporción de área incendiada por unidad de tiempo.

Los resultados de este estudio demuestran además que los incendios están relacionados a las oscilaciones del clima, el estudio de Lloret et al (2002) indica que la distribución de los incendios a través del paisaje está en función de la abundancia y el arreglo del combustible, mientras que Nicklasson y Granström (2000) indican que el clima altera el tamaño de cada incendio a través de condiciones diferentes de humedad que prevalecen durante los incendios. Entonces, en cada una de las regiones del Oaxaca, la sequía provocada por *El Niño* hizo que hubiera mayor carga y distribución de los combustibles con lo que el área de cada incendio aumentó.

Tabla 1. Superficie de cada región en km<sup>2</sup> (SE) y superficie incendiada por región en Oaxaca de 1998 al 2003 SR (Km<sup>2</sup>).  
 Proporción de superficie incendiada en el estado SE1% y proporción de superficie incendiada de cada región SE2 (%).

	SE (km2)	SR (km2)	SE1 (%)	SE2 (%)
<b>Valles Centrales</b>	9,422.19	159.21	0.170	1.69
<b>Sierra Sur</b>	14,695.54	638.05	0.682	4.34
<b>Costa</b>	11,591.38	164.14	0.175	1.42
<b>Mixteca</b>	15,739.80	186.84	0.200	1.19
<b>Sierra Norte</b>	8,959.81	210.61	0.225	2.35
<b>Istmo</b>	20,260.77	2,519.08	2.693	12.43
<b>Cañada</b>	4,374.01	77.12	0.082	1.76
<b>Papaloapan</b>	8,498.83	70.26	0.075	0.83
<b>TOTAL</b>	<b>93,542.34</b>	<b>4,025.30</b>	<b>4.303</b>	<b>4.30</b>

Tabla 2. Proporción de área incendiada por región (%) en Oaxaca de 1998 al 2003.

	1998	1999	2000	2001	2002	2003	TOTAL
<b>Valles Centrales</b>	0.43	0.15	0.16	0.19	0.50	0.26	1.69
<b>Sierra Sur</b>	0.88	0.53	0.33	0.35	0.19	2.07	4.34
<b>Costa</b>	0.15	0.12	0.23	0.27	0.21	0.44	1.42
<b>Mixteca</b>	0.39	0.06	0.09	0.08	0.11	0.45	1.19
<b>Sierra Norte</b>	1.21	0.38	0.08	0.05	0.13	0.50	2.35
<b>Istmo</b>	10.42	0.05	0.03	0.10	0.99	0.85	12.43
<b>Cañada</b>	1.13	0.04	0.02	0.19	0.11	0.28	1.76
<b>Papaloapan</b>	0.02	0.24	0.00	0.03	0.38	0.16	0.83

Tabla 3. Densidad de incendios por región (número de incendios por km<sup>2</sup>), en Oaxaca de 1998 al 2003.

	1998	1999	2000	2001	2002	2003	TOTAL
Valles Centrales	0.008	0.007	0.005	0.008	0.007	0.006	0.040
Sierra Sur	0.006	0.004	0.004	0.004	0.003	0.004	0.025
Costa	0.005	0.004	0.003	0.004	0.003	0.005	0.025
Mixteca	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.012
Sierra Norte	0.005	0.005	0.004	0.002	0.003	0.006	0.025
Istmo	0.009	0.002	0.001	0.005	0.003	0.005	0.025
Cañada	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.001	0.003
Papaloapan	0.001	0.005	0.001	0.000	0.005	0.001	0.013

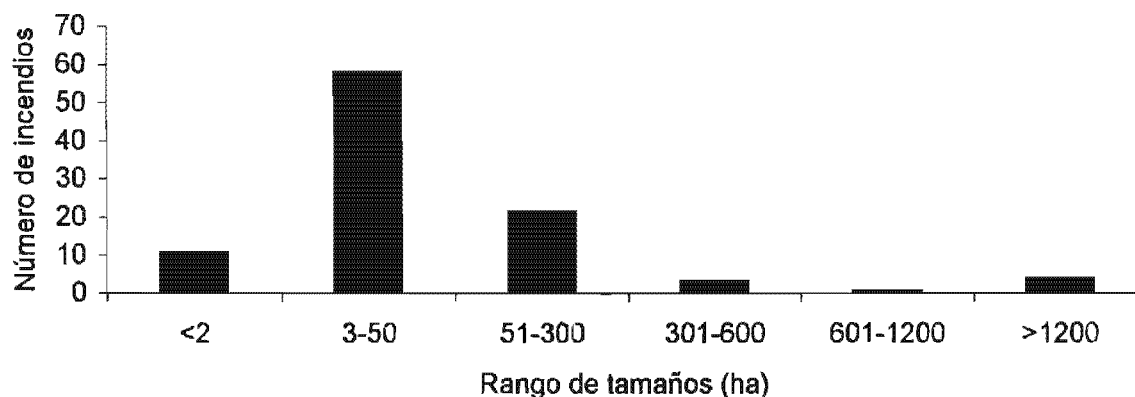


Figura 5a. Número de incendios forestales de Oaxaca en el periodo de 1998 al 2003, clasificado por categorías de superficie de incendio.

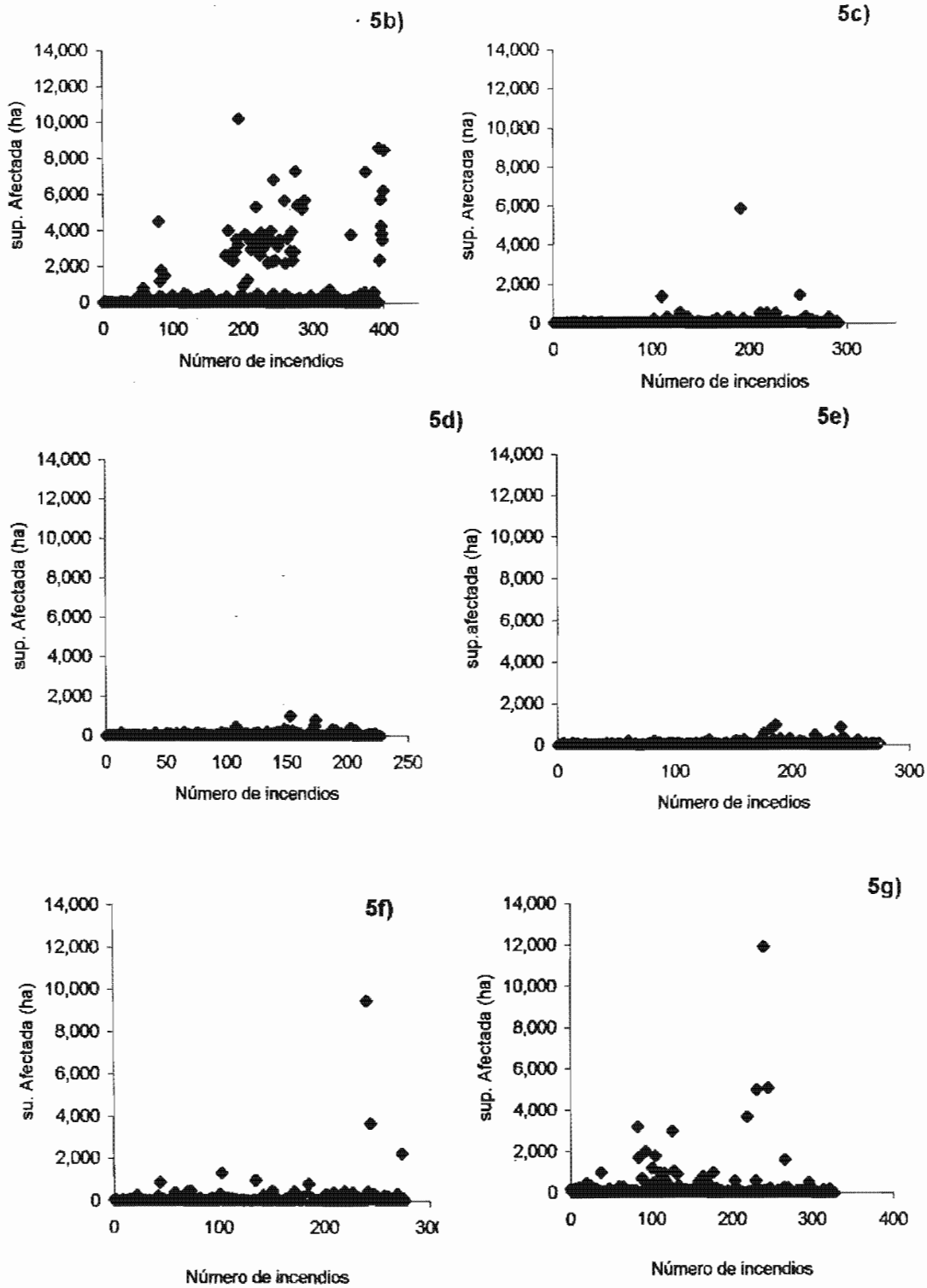
Tabla 4. Superficie incendiada promedio (ha) por región de 1998 al 2003 en Oaxaca.

	1998	1999	2000	2001	2002	2003	TOTAL
Valles Centrales	57.26	20.38	29.57	25.64	71.61	46.61	42.01
Sierra Sur	140.16	129.43	84.53	97.90	55.52	507.17	171.98
Costa	28.34	34.85	77.04	62.06	61.97	81.67	57.19
Mixteca	156.68	42.58	45.95	41.76	71.67	188.37	100.45
Sierra Norte	220.36	82.02	20.75	27.31	45.06	87.31	95.30
Istmo	2607.23	42.64	64.14	46.57	868.74	372.63	1119.59
Cañada	214.39	15.27	30.00	102.63	53.00	102.08	116.85
Papaloapan	52.67	91.41	2.75	130.00	159.95	278.00	127.75
<b>TOTAL</b>	<b>601.87</b>	<b>66.95</b>	<b>53.76</b>	<b>54.15</b>	<b>136.49</b>	<b>212.13</b>	<b>223.59</b>

La frecuencia y área de los incendios varió entre regiones y años: las regiones Valles Centrales, Sierra Sur y Costa registraron más incendios, pero el Istmo y la Sierra Sur presentan mayor cantidad de hectáreas afectadas. Esto posiblemente se debe a que las ocho regiones tienen diferencias en los tipos de vegetación y uso del suelo, variaciones climáticas, topográficas, y de manejo de recursos naturales que lo hacen diferencialmente vulnerable espacial y temporalmente a la presencia de incendios. Estos resultados son similares a lo reportado en el archipiélago Indonesio por Stolle y Lambin (2003). Estos autores sustentan que las diferencias en los factores biofísicos y los patrones de uso del suelo generan diferencias en la distribución espacial de los incendios. En el mismo sentido, Shvidenko y Nilsson, (2000) y Hudak, (2004) sugieren que la variabilidad regional de los incendios está determinada por el tipo específico de paisaje, ya que cada uno muestra variaciones considerables en cuanto al ciclo de regularidades del clima y la humedad, la dinámica temporal de los procesos atmosféricos, la cubierta forestal, la fenología de la vegetación, recursos de ignición, y el nivel de protección al bosque.

La frecuencia y el tamaño de cada uno de los incendios están anidados jerárquicamente bajo los descriptores de los regímenes de frecuencia, intensidad y estacionalidad, así como de los factores físicos (Forman, 1986). En este estudio los fuegos fueron irregulares en tamaño y frecuencia debido (como ya se mencionó) a la heterogeneidad ambiental de cada una de las regiones. El tamaño de los incendios fue variable de 1998 y 2003, en este periodo se registraron 1,815 eventos. De éstos, el 11.29% tuvo < 2 ha de extensión, el 58.37% > 2 ha a < 50 ha; el 21.70% registró > 50 a < 300 ha, el 3.54% de los eventos fue entre > 301 y < 600 ha, 0.81% de los incendios entre > 600 y < 1200 ha; finalmente el 4.29% fueron > 1,200 ha (Figura 5a). Estos resultados son similares a lo reportado por Jardel et al, 2003 en la Reserva de la Biosfera Sierra de Manantlán,

Jalisco; en el sentido de que son más frecuentes los incendios < 50 ha, este autor reporta que el 40.7% de los incendios tuvo >50 ha y solo el 3.9% de los incendios fue de >1,200 ha. Los eventos más extensos se registraron en el año de 1998, es decir fue más frecuente la aparición de incendios > 2000 ha (Figura 5b). En 1999 se presentó un evento > 5,000 ha, y dos incendios > 12,000 ha; el resto de los incendios en ese año no sobrepasa las 600 ha (Figura 5c). En el 2000 la mayor parte de los incendios tienen menos de 100 ha, mientras que existen algunos que van de las 150 a 500 ha; y un evento registró > 1,000 ha incendiadas (Figura 5d). En el año 2001 se registra una tendencia similar a los años anteriores, la mayor parte de los eventos tienen menos de 200 ha y solo tres tienen cerca de 1,000 ha quemadas (Figura 5e). En el 2002 la mayor parte de los incendios no sobrepasan las 500 ha, mientras que dos sobrepasan las 1,000 ha, dos van de las 200 a 3500 ha y uno registra casi 9500 ha incendiadas (Figura 5f). Finalmente en el 2003 la mayor parte de los eventos tiene menos de 600 ha y solo uno registra 11,900 ha incendiadas (Figura 5g). El tamaño promedio de los eventos fue considerable en los años, 2003 (212 ha), 2002 (136.49 ha) y 1998, este último registra 601.87 ha quemadas por evento. Mientras que, en ese año el Istmo fue la zona más afectada con 2,607.23 ha incendiadas por incendio en promedio. La región con el mayor promedio de ha quemadas en los seis años de estudio fue el Istmo con 1,119.25 ha impactadas, la diferencia con las demás regiones es considerable, ya que regiones como la Sierra Sur, la Mixteca, la Cañada y el Papaloapan registran en promedio alrededor de 100 ha afectadas por incendio (Tabla 4). Estos patrones de distribución de incendios en Oaxaca nos permiten identificar las áreas críticas y susceptibles a incendios. Por otro lado el patrón indica que los eventos más frecuentes en el estado van de 2-50 ha, pero también existen eventos aislados de grandes dimensiones.



**Figura 5. Relación entre superficie afectada y número de incendios por región en Oaxaca de 1998 al 2003. 5b) 1998, 5c) 1999, 5d) 2000, 5e) 2001, 5f) 2002 y 5g) 2003.**



## 2.1 Distribución regional de los incendios en Oaxaca

De 1998 al 2003 en el estado Oaxaca se presentaron en promedio 302 incendios y 67,635 ha quemadas, sin embargo, la distribución en cada uno de los años y la superficie afectada fue diferencial. Por ejemplo en 1998 se presentó la mayor la frecuencia de incendios (419) que afectaron a 252,148 ha.

Se realizó un análisis de regresión con el número de incendios y la superficie incendiada de cada año para observar si había una relación potencial entre las dos variables. Bajo el argumento de que con la superficie quemada de cada uno de los incendios y el tipo de vegetación afectada es posible aplicar procedimientos estadísticos para analizar la relación entre el número de incendios y la superficie forestal quemada; y la correspondencia entre el tipo de vegetación y el número de incendios (Badía, 1998).

El análisis estadístico de número de incendios y superficie incendiada por nivel de vegetación indica que estas variables están fuertemente relacionadas ( $F = 10.69$ ,  $P = 0.017$ ,  $R^2 = 0.641$ ). La vegetación se clasificó en 4 niveles arbóreos, de los cuales la mayor relación entre número de incendios y ha afectadas fue para el renuevo ( $F = 31.02$ ,  $P = 0.001$ ,  $R^2 = 0.83$ ); pastizales ( $F = 21.14$ ,  $P = 0.004$ ,  $R^2 = 0.77$ ) y arbustos ( $F = 16.5$ ,  $P = 0.01$ ,  $R^2 = 0.77$ ). En el nivel del arbolado adulto la correlación es menor (Tabla 5). Mientras que, La relación entre número de incendios y superficie afectada por año fue significativa para todo los años excepto para el 2002 ( $F = 1.45$ ,  $P = 0.294$ ,  $R^2 = 0.268$ ) (Tabla 6).

Este análisis indica que en ciertos niveles de vegetación y en ciertos años el número de incendios estará ligado la cantidad de superficie incendiada de ese nivel o de ese año, pero en algunos casos la correlación entre estas variables es menor, es decir, aunque haya un aumento o una disminución drástica en el número de incendios no necesariamente la superficie afectada tendrá la misma tendencia. Por ejemplo los incendios son más

numerosos en los niveles de pastizales y arbustos por lo tanto se tendrá la certeza de que la superficie afectada también será cuantiosa, en cambio para el arbolado adulto y el renuevo una mayor cantidad de incendios no implica grandes áreas incendiadas. Con esto se concluye que el factor que hace que no haya una relación directa es que el tamaño de los incendios será variable y que en ciertos años y niveles de vegetación los incendios serán más extensos por las características físicas de cada uno.

La superficie afectada y el número de incendios fue variable para cada una de las regiones y años de estudio. El número de incendios fue constante en las regiones siguientes: Valles Centrales, la Sierra Sur, la Costa y al Mixteca; mientras que el Istmo y la Sierra Norte presentan oscilaciones marcadas. También sobresale 1998 con el mayor número de incendios para los Valles centrales, la Sierra Sur, el Istmo y la Cañada, pero en las demás regiones el 2003 fue el año con mayor número de incendios (figura 5h). La Sierra Sur y el Istmo registraron el mayor número de hectáreas incendiadas en el 2003 y 1998, respectivamente (Figura 5i).

La localización de los incendios en algunas regiones del estado de Oaxaca coinciden con los lugares que según Velázquez et al., 2003 registran las tasas más altas de deforestación, p.e la Costa, Sierra Sur, y los Valles Centrales. Por otro lado el mapa de Agricultura y Vegetación de INEGI indica que la superficie del estado de Oaxaca que se dedica mas intensamente a las actividades agropecuarias (14.22%), tiene coincidencia con la localización de las regiones mencionadas. En este sentido la región de la Costa es un ejemplo donde la superficie afectada no es tan alta como en las otras regiones, sin embargo, el estudio de deforestación de Velázquez et al., 2003, así como la distribución de los puntos de calor (ver pág 135). demuestran que ésta región debe registrar un comportamiento de los incendios mucho más negativo, de lo que Comisión Nacional Forestal ha reportado, en lo

que a superficie afectada y a número de incendios se refiere. Los incendios fomentan de manera particular en Costa la apertura de espacios en los bosques tropicales para la introducción de ganado vacuno en el marco del proceso de deforestación.

Los ejemplos mencionados plantean una relación estrecha entre la deforestación y los incendios, la cual ya ha sido sugerida por Quadri, 2005 y afirma que para el caso de México los incendios tienen una analogía muy estrecha con el proceso de deforestación, pues son la herramienta preponderante en el cambio de uso de suelo. Por lo tanto todo indica que los incendios se distribuyen donde se realizan actividades antrópicas como la agricultura y el pastoreo contribuyendo a la deforestación y al cambio de uso de suelo de Oaxaca.

En conclusión, la variabilidad regional de los incendios exhibe diferencias en cuanto a disponibilidad de tierra y a los procesos que se lleven a cabo en cada una de ellas, como el cambio de uso de suelo que incluye la expansión agrícola o actividades antrópicas como la explotación forestal, y como se ha observado es lo que actualmente determinan el riesgo de incendios no solo en Oaxaca, también en lugares como Indonesia (Stolle y Lambin, 2003).

**Tabla 5. Regresión número de incendios-superficie incendiada, por nivel en Oaxaca.**

Nivel	F	P	r <sup>2</sup>
renuevo	31.02	0.001	0.838
arbolado adulto	10.10	0.019	0.627
arbustos	16.50	0.010	0.770
pastizales	21.14	0.004	0.779
total	10.69	0.017	0.641

**Tabla 6. Regresión número de incendios-superficie afectada, por año en Oaxaca.**

Año	F	P	r <sup>2</sup>
1998	7.88	0.038	0.612
1999	23.59	0.008	0.855
2000	16.46	0.015	0.805
2001	15.87	0.007	0.726
2002	1.45	0.294	0.268
2003	34.54	0.004	0.897
total	14.55	0.009	0.708

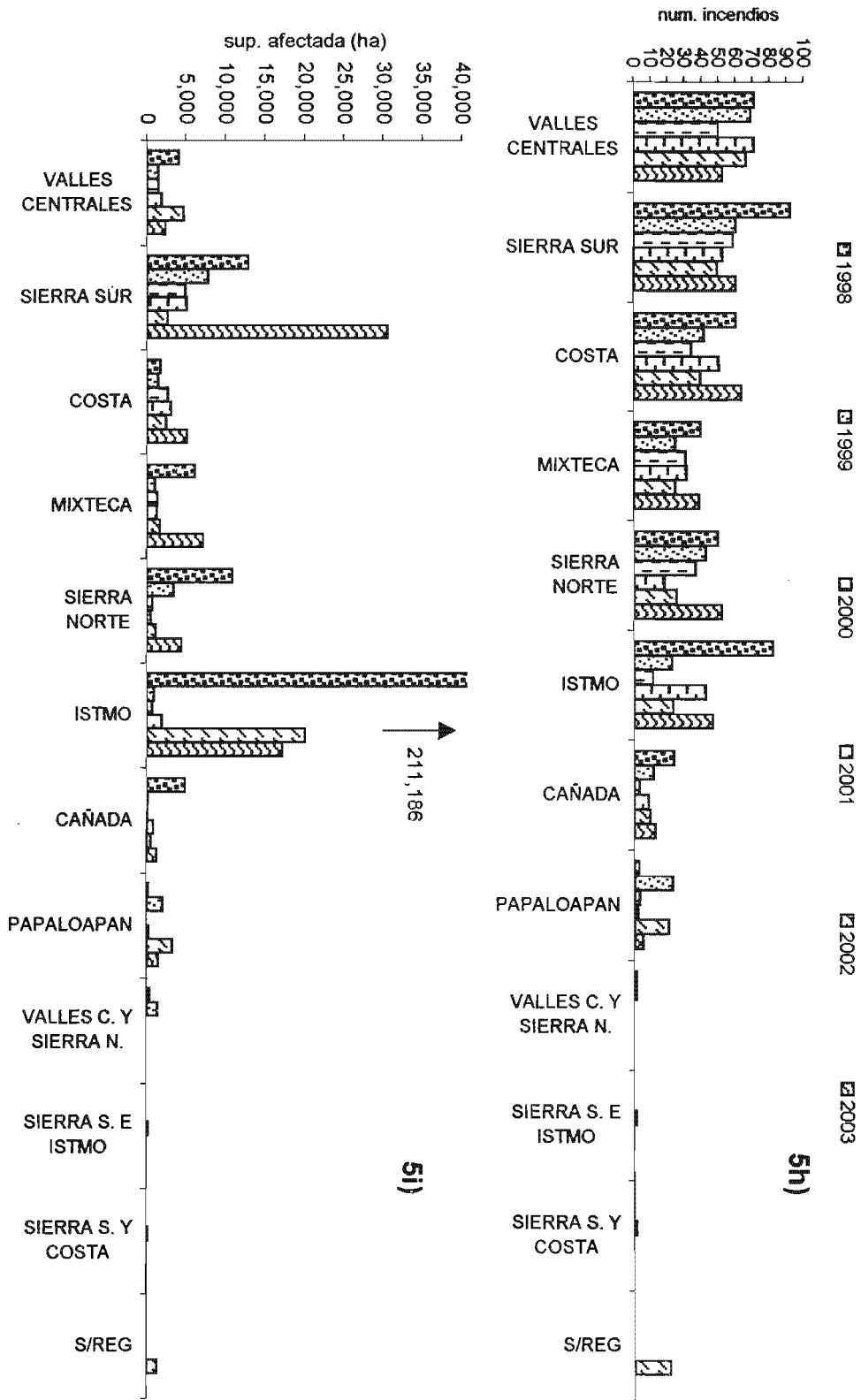


Figura 5. Número de incendios (5h) y superficie afectada (5i) por región para cada año de estudio (1998 - 2003).

### ***2.1.1 Distribución espacial de los incendios por año***

Como ya se señaló el número total de incendios en 1998 fue de 419, con 252,184 ha impactadas. El mayor número de incendios tuvo lugar en la región del Istmo (81 incendios) y 211,186 ha incendiadas; seguida por la región de la Sierra Sur, con solo 12,894.5 ha quemadas en 92 incendios; mientras que la región que menos incendios registró fue la del Papaloapan con 3 eventos que afectaron a 158 ha (Figura 6a). En 1999 el área total incendiada fue de 19,550 ha, el total de incendios fue de 292, la Sierra Sur fue la más afectada en este año con 7,766 ha quemadas. El mayor número de incendios se presentó en los Valles Centrales (69), mientras que el menor número se registró la Mixteca (11) (Figura 6b). En el año 2000 se registraron 12,230 ha incendiadas y 227 incendios. La Sierra Sur fue la región más afectada (4,903 has incendiadas), mientras que la región del Papaloapan fue la menos afectada (8.25 has incendiadas). El mayor número de incendios tuvo lugar en la Sierra Sur (59), y tanto la Cañada como el Papaloapan fueron los de menor número (3 incendios cada uno) (Figura 6c). En el 2001 el total de ha incendiadas fue de 14,837.5, y 274 incendios. La Sierra Sur nuevamente fue la región más afectada (5,091 ha), y el Papaloapan fue la menos afectada (260 ha incendiadas). La región que más incendios registró fue la de los Valles Centrales con 71 incendios, mientras que la región de la Cañada tuvo 2 eventos (Figura 6d). Para el 2002 se presentaron 276 incendios que afectaron 37,670 ha. La región del Istmo fue la más afectada con 19,981 ha, mientras que el Papaloapan tuvo 477 ha incendiadas. El mayor número de incendios se registró en los Valles Centrales (66), mientras que, la región de la Cañada fue la menos afectada (6) (Figura 6e). El año 2003 registró 327 incendios y un total 69,365.5 ha afectadas, la mayoría tuvo lugar en la región de la Sierra Sur (30,430 ha), mientras que, la región de la Cañada registró solamente 1,225 ha incendiadas.

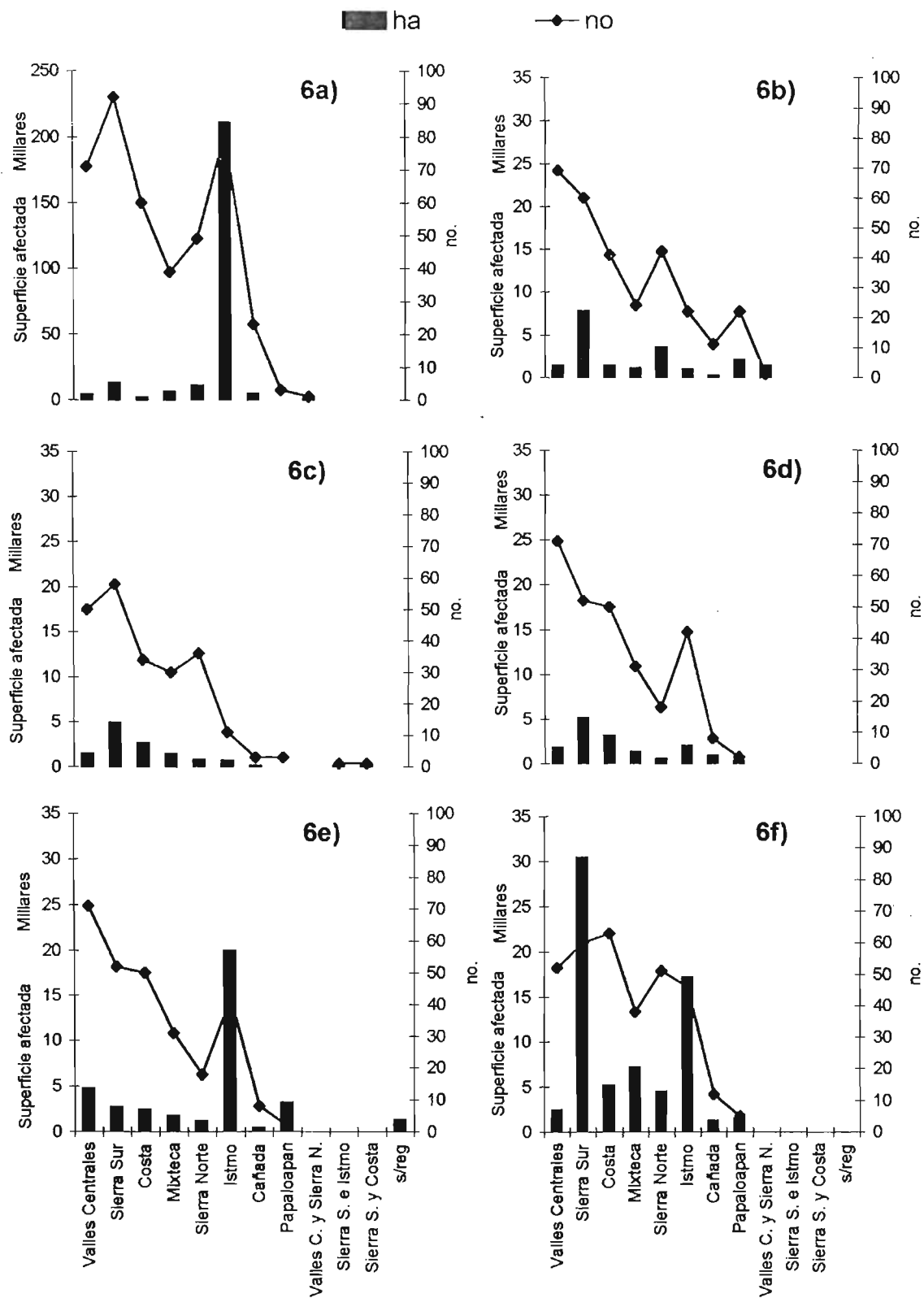


Figura 6. Superficie afectada (ha) y número de incendios por región en Oaxaca de 1998 al 2003. 6A) 1998, 6B) 1999, 6C) 2000, 6D) 2001, 6E) 2002, 6F) 2003.

### ***2.1.2 Distribución regional de los incendios por estrato***

La región de los Valles Centrales registró un total 15,920 has afectadas y 379 incendios para los 6 años de estudio (Figura 7a). Los niveles afectados registraron variación en las hectáreas incendiadas: el renuevo tuvo 1,904 ha, el arbolado adulto 1,907 ha, los arbustos 6,945 y los pastizales 5,163. El número de incendios también fue variable: el renuevo tuvo 83, el arbolado adulto 50, los arbustos 287 y los pastizales 279. El año 2002 fue el que mayor has afectadas presentó (4,726). El nivel de incendio más afectado en este año fue el arbustivo (2,748.50 ha quemadas), seguido muy de cerca por el nivel de los pastizales con 1,211 ha afectadas (Figura 7b). Respecto al número de incendios, 1998 registró 71 eventos, los niveles más afectados en este año fueron los pastizales con 63 eventos y los arbustos con 50 (Figura 8a).

La región de la Sierra Sur registró en total 63,805 ha afectadas en los seis años de estudio (Figura 7a) y 371 incendios. Los niveles registraron variaciones respecto a la superficie impactada, el renuevo tuvo 10,838.75 ha, el arbolado adulto 12,163.75 ha, los arbustos 24,595.50 ha y los pastizales 16,207.00 ha. El número de incendios también fue variable el renuevo tuvo 190 el arbolado adulto 97, los arbustos 312 y los pastizales 214. El año más afectado fue el 2003 con 30,430 ha quemadas, y el nivel impactado para este año fue el de los arbustos con 10,075 ha perturbadas (Figura 7c). Los arbustos fueron el nivel más impactado en el periodo de estudio con 24,595.50 ha impactadas. El año más afectado respecto al número de incendios fue 1998 con 92, mientras que los niveles mas afectados para este año fue de los arbustos con 82 eventos, los pastizales y el renuevo que registraron 52 eventos cada uno (Figura 8b).

La región de la Costa registró en total 16,414 ha, el número total de incendios fue de 287 (Figura 7a). La superficie afectada por nivel tuvo variaciones, el renuevo tuvo 1,289



hectáreas afectadas, el arbolado adulto 2,265, los arbustos 6,746 y los pastizales 6,114. El número de incendios fue variable entre niveles, el renuevo tuvo 61 el arbolado adulto 83, los arbustos 202 y los pastizales 193. Respecto a la superficie incendiada la mayoría tuvo lugar en el 2003 con 5,145 ha afectadas, el nivel más impactado fue el de los pastizales (2,232 ha incendiadas), mientras que los arbustos registraron 2,114 ha quemadas (Figura 7d). Respecto al número de incendios, 1998 fue el más afectado con 60 eventos, los niveles más afectados fueron los pastizales con 45 y los arbustos con 38 (Figura 8c).

La región de la Mixteca registró 18,638.50 ha afectadas para los 6 años de estudio, el número total de incendios fue de 186 (Figura 7a). La superficie afectada por nivel tuvo variaciones, el renuevo tuvo 1,822.50 hectáreas afectadas, el arbolado adulto 1,911.50, los arbustos 7,193.50 y los pastizales 7,756. El número de incendios fue variable entre niveles, el renuevo tuvo 126 el arbolado adulto 57, los arbustos 170 y los pastizales 156. En ésta región la mayoría de los incendios tuvo lugar en el año 2003 con 7,158 ha afectadas (Figura 5i), el nivel de los pastizales registró el mayor número de ha afectadas (3,203) (Figura 7e). El año con más incendios fue 1998 (39 eventos), del cual los niveles más afectados fueron los pastizales (39) y el renuevo (38) (Figura 8d).

La región de la Sierra Norte registró 21,060.75 ha afectadas, el número total de incendios fue de 221 (Figura 7a). La superficie afectada varió entre niveles, el renuevo tuvo 4,363.50 hectáreas afectadas, el arbolado adulto 4,346.25, los arbustos 9,202.25 y los pastizales 3,148.75. El número de incendios entre niveles en ésta región fue para el renuevo 67 el arbolado adulto 73, los arbustos 180 y los pastizales 108. Pero la mayoría se registró en 1998 con 10,797.75 ha incendiadas, mientras que el nivel más afectado para la región fue el de los arbustos con 4,776 ha y el renuevo con 3,634 ha afectadas (Figura 7f). Respecto al número de incendios la mayoría se registró en el año 2003 con 51 eventos,

mientras que el nivel más afectado resultó ser el de los arbustos con 42 eventos, seguido de los pastizales y el renuevo con 30 y 28 incendios respectivamente (Figura 8Ee).

La región del Istmo registró un total de 251,907.50 ha afectadas en los seis años de estudio, el número total de incendios fue de 207 (Figura 7a). La superficie afectada varió entre niveles, el renuevo tuvo 30,012.00 hectáreas afectadas, el arbolado adulto 93,518.50, los arbustos 58,966.00 y los pastizales 69,411.00. El número de incendios entre niveles en ésta región fue para el renuevo 81, el arbolado adulto 100, los arbustos 151 y los pastizales 164. El año 1998 fue el que mayor área impactada registró (211,186 ha), el nivel del arbolado adulto resultó ser el más afectado con 89,653 ha impactadas (Figura 7g). El número de incendios fue mayor en 1998 con 63 eventos, y los niveles no registraron variaciones importantes entre ellos, el renuevo registró 55 incendios, el arbolado adulto 60, y los pastizales y arbustos tuvieron 59 eventos cada uno (Figura 8f).

La región de la Cañada registró 7,712 ha afectadas, el número total de incendios fue de 66 (Figura 7a). Los niveles registraron variación en las hectáreas afectadas el renuevo tuvo 447, el arbolado adulto 1,717, los arbustos 3260 y los pastizales 2,280. El número de incendios también fue variable el renuevo tuvo 18, el arbolado adulto 33, los arbustos 48 y los pastizales 44. Respecto a la superficie incendiada el año de 1998 sobresalió con 4,931 ha quemadas, el nivel más impactado fue el de los arbustos con 2,329 ha incendiadas (Figura 7h). El número de incendios fue mayor en el año de 1998 con 23 eventos, mientras que el nivel más afectado fue el de los pastizales con 21 eventos (Figura 8g).

La región del Papaloapan registró en total 7,026.25 ha, el número total de incendios fue de 55 (Figura 7a). Los niveles registraron variación en las hectáreas afectadas, el renuevo tuvo 520, el arbolado adulto 1,790.50, los arbustos 3,528.50 y los pastizales 1,182. El número de incendios también fue variable, el renuevo tuvo 7, el arbolado adulto 14, los

arbustos 45 y los pastizales 15. La superficie afectada fue mayor en el año 2002 con 3,199 ha, mientras que el nivel de los arbustos resultó ser el más afectado con 1,722 ha (Figura 7i). El número de incendios fue mayor en el año de 1999 con 23 incendios, mientras que el nivel más afectado fue el de los arbustos con 21 eventos (Figura 8h).

La región de los Valles Centrales y la Sierra Norte registraron en conjunto 1,705 ha afectadas (Figura 7a), el año más afectado fue 1999 con 1,365 ha, el nivel más afectado resultó ser el de los arbustos con 1,060 ha incendiadas (Tabla 7). El número de incendios fue homogéneo en todos los niveles de incendio (Tabla 8). La región de la Sierra Sur y el Istmo registraron en conjunto 122 ha incendiadas, de las cuales (Figura 7a), la mayoría tuvo lugar al nivel de los arbustos con 88 ha impactadas (Tabla 7), mientras que solo ocurrió un incendio, el cual afectó a todos los niveles menos el del arbolado adulto (Tabla 8). La región de la Sierra Sur y la Costa registraron en conjunto 150.75 ha (Figura 7a), de las cuales, el nivel de los pastizales tuvo el mayor número de ha afectadas con 100 (Tabla 7), únicamente hubo un incendio el cual afectó sólo los niveles de arbustos y pastizales (Tabla 8). Mientras que hubo incendios que no fue posible ubicarlos en alguna región, los cuales sumaron 1,303 ha incendiadas (Tabla 7), de las cuales, el nivel más afectado resultó ser el de los arbustos con 677 ha impactadas (Tabla 7), el número total de incendios fue de 21 de los cuales la mayoría tuvo lugar al nivel de los arbustos con 18 eventos (Tabla 8).

La mayor frecuencia de los incendios en arbustos y pastizales se debe a que las quemadas son de origen antrópico y se realizan para eliminar la vegetación y fertilizar el terreno con las cenizas (Eastmond y Faust, 2004). Por otro lado, el fuego se usa como una herramienta de clareo del bosque para introducir ganado, con el fin de que los pastizales que se presenten después del desmonte sirvan como forraje. Cochrane (2002), afirma en un análisis de incendios de Centroamérica y México, que gran parte de la región es propensa a

incendios debido a la tala de bosques y al mantenimiento de los pastizales. Y la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat) considera este uso del fuego como el contribuyente mayor para la existencia de incendios forestales en México.

El patrón de recurrencia natural del fuego indica que prefiere presentarse en el nivel arbóreo. Los niveles arbustivos tiene diámetros pequeños (partículas menores a 0.6 cm de diámetro), lo que los hace perder humedad rápidamente. Son más susceptibles a que el clima y sus variaciones determinen su estatus hídrico (Román-Cuesta, 2004), y también a que se conviertan en combustibles secos y muertos. Estas características los convierten en combustibles potenciales de los incendios, aunque se consumen rápidamente y no sostienen continuamente al fuego (Schoennagel et al., 2004). En contraste, los troncos y ramas pierden humedad con menor velocidad (7.6 a 20.3 cm de diámetro) y son influenciados en menor medida por los periodos de sequía prolongados.

Los estratos bajos de vegetación como los arbustos se queman más porque incluyen tipos de vegetación de bajo crecimiento, y además pueden reemplazar la biomasa perdida por los incendios más rápido (Wells et al., 2004). Mientras que, el fuego es un componente importante para el mantenimiento de la diversidad de los pastizales, y constituye una herramienta de manejo indispensable, que contribuye a que el nivel arbóreo sea remarcadamente resiliente al fuego (Gustafson, 2004; Uys, 2004). En ambos casos, el fuego promueve la expansión de este tipo de cobertura y produce en cierto grado de homogeneidad en el paisaje, esto se debe al aumento paulatino de la alteración antrópica, ya que la presencia natural de los incendios contribuye a la heterogeneidad del paisaje (Lloret et al., 2002).

El patrón espacial indica que los niveles de arbustos y pastizales se queman más que el renuevo o el arbolado adulto. Sin embargo, en años como en 1998, caracterizados por

déficit de humedad hace que los segundos sean los niveles mas afectados. El patrón de los incendios establecido para el nivel de vegetación afectado fue alterado cuando el Istmo registró cantidades similares de incendios en todos los niveles, aunque el que más daños reportó fue el arbolado adulto, que al presentarse precisamente en este periodo demuestra que los incendios a ésta altura están asociados a niveles severos de sequía. Estos incendios se caracterizan por ser eventos de alta severidad, este tipo de quema se presentó en las mismas condiciones en el estado de Chiapas según lo reportado por (Roman-Cuesta, 2004), estos indicios nos llevan a la conclusión de que en los años de *El Niño* los incendios deben ser monitoreados con más detalle en todo el país y previamente se deben haber llevado acciones de prevención pues los resultados de este estudio son solo una muestra del efecto que deben de tener a nivel nacional.

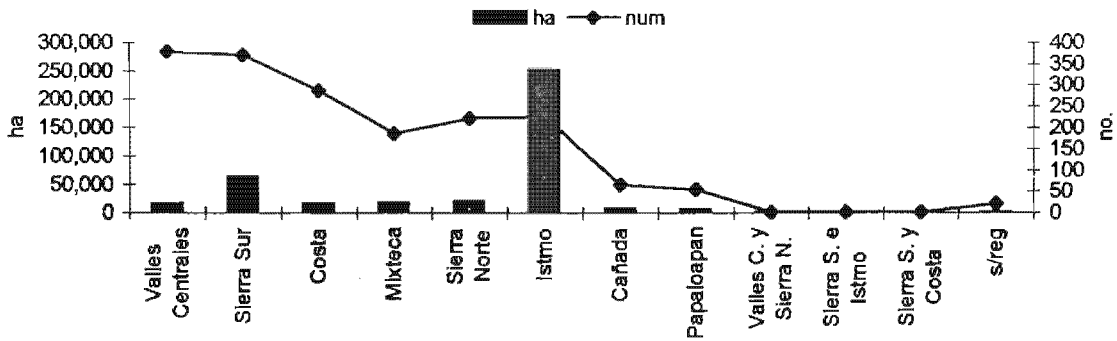


Figura 7a. Superficie afectada y número de incendios para cada región de 1998 al 2003.

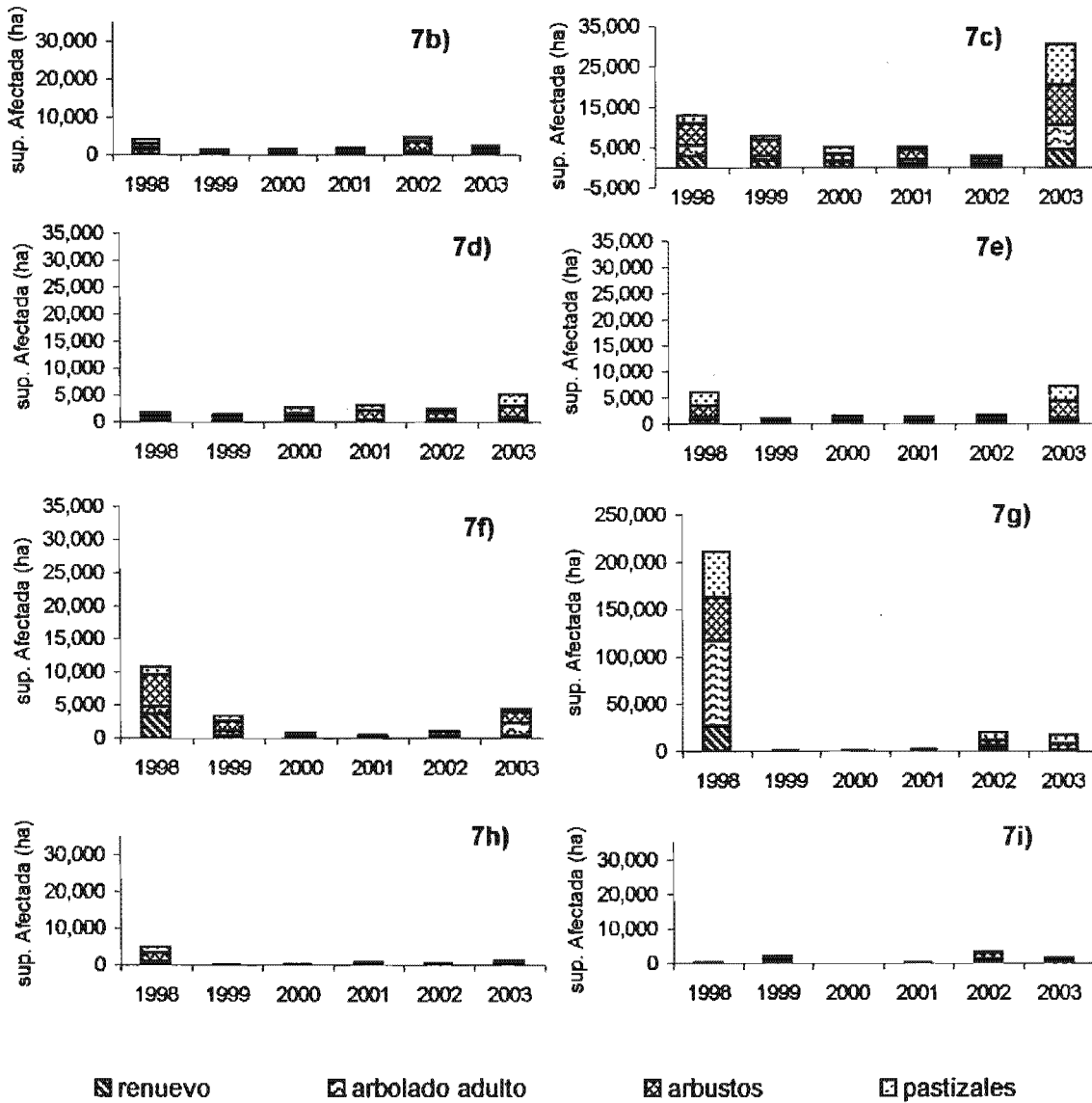
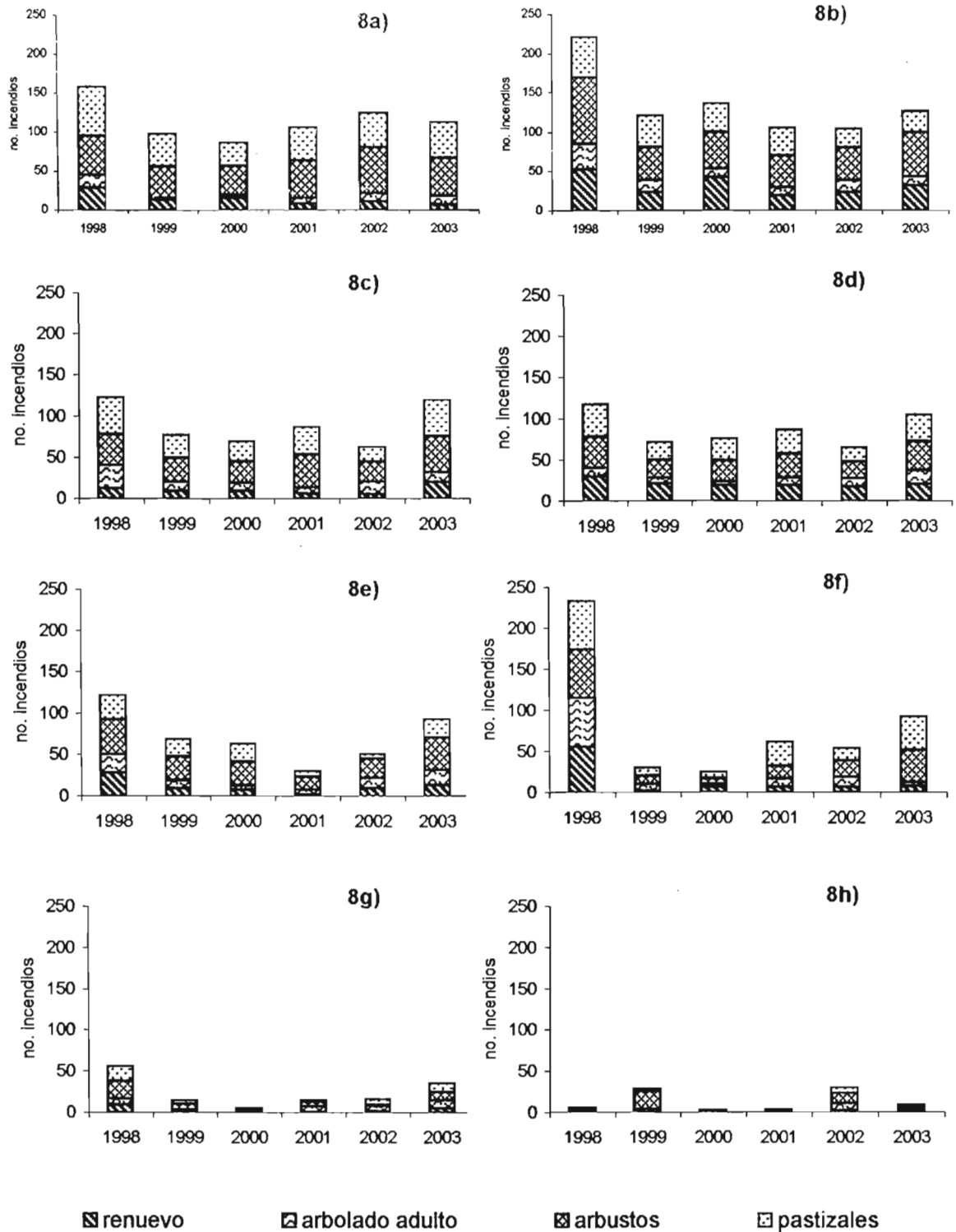


Figura 7. Superficie incendiada (ha) para cada región por nivel de vegetación y para cada año de estudio (1998 al 2003). 7b) Valles Centrales, 7c) Sierra Sur, 7d) Costa, 7e) Mixteca, 7f) Sierra Norte, 7g) Istmo, 7h) Cañada, 7i) Papaloapan.



**Figura 8. Número de incendios para cada región por nivel de vegetación y para cada año de estudio (1998 al 2003). 8a) Valles Centrales, 8b) Sierra Sur, 8c) Costa, 8d) Mixteca, 8e) Sierra Norte, 8f) Istmo, 8g) Cañada, 8h) Papaloapan.**

**Tabla 7. Superficie afectada (ha) en más de una región de Oaxaca.**

	fecha	renuevo	arbolado adulto	arbustos	pastizales	total
<b>Valle C. y</b>						
<b>Sierra N.</b>	25/03/1998	52.00	78.00	175.00	35.00	340.00
	07/04/1999	120.00	120.00	1060.00	65.00	1365.00
<b>Sierra Sur e</b>						
<b>Istmo</b>	28/02/2000	3.00	0.00	88.00	31.00	122.00
<b>Sierra Sur y</b>						
<b>Costa</b>	13/01/2000	0.00	0.00	50.75	100.00	150.75
<b>s/reg</b>	22/06/2002	57.50	95.00	677.00	473.50	1303.00
<b>total</b>		232.50	293.00	2050.75	704.50	3280.75

**Tabla 8. Número de incendios en más de una región de Oaxaca.**

	fecha	renuevo	arbolado adulto	arbustos	pastizales	total
<b>VALLES C.</b>						
<b>Y SIERRA</b>	25/03/1998	1	1	1	1	1
	07/04/1999	1	1	1	1	1
<b>SIERRA</b>						
<b>SUR E</b>	28/02/2000			1	1	1
<b>ISTMO</b>		1				
<b>SIERRA</b>						
<b>SUR Y</b>						
<b>COSTA</b>	13/01/2000			1	1	1
<b>s/reg</b>	24/06/2002	7	4	18	13	21
<b>total</b>		10	6	22	17	25



### *2.1.3 Distribución regional de los incendios por ecosistema*

Esta clasificación de la distribución espacial de los incendios por tipo de ecosistema se retomó de la propuesta de Conafor, la cual consiste en un agrupado de los tipos de vegetación de coberturas primarias como son los bosques templados, los bosques tropicales y la vegetación de zonas áridas. Este agrupado ha sido muy útil para la realización de este estudio a nivel regional ya que se buscaba localizar las áreas prioritarias para el manejo de incendios. Este agrupado también ha sido usado para estudiar los tipos de procesos de cambio de cobertura en Oaxaca (Velázquez et al., 2003). Un aspecto importante, es que ésta información se incluye a partir de 1999 para todas las regiones, ya que la base de datos original carece de datos del año 1998.

La región de los Valles Centrales registró 9,390 ha quemadas en 165 incendios para el ecosistema templado frío (bosques) (Figura 9a), el año más afectado fue el 2002 con 4,241 ha quemadas, el nivel más impactado fue el de los arbustos (2,491 ha quemadas) (Figura 9b). La mayor cantidad de incendios en este ecosistema se presentó en el año 2000, 37 eventos, el nivel más afectado fue el de los arbustos con 26 (2000) y 31 (2002) incendios respectivamente (Figura 9c). En contraste, en las selvas solo hubo 3 ha quemadas en 1 evento en el año 2003 (Figura 9a). Finalmente las zonas áridas (matorral desértico) registraron 2,462 ha quemadas (Figura 9a), pero el año más afectado fue el 2000 (800.5 ha). El nivel más afectado fue el de los pastizales (377.5 ha) (Figura 9f). El total de incendios fue de 142 en las zonas áridas, la mayor parte se presentó en los años 1999 y 2000 con 38 y 34 incendios respectivamente, el nivel más afectado en estos años fue el de los pastizales con 26 y 25 incendios cada uno (Figura 9g).

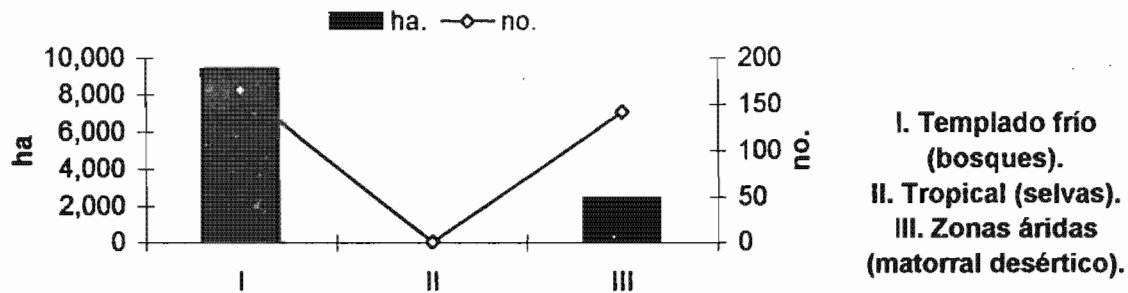


Figura 9a. Superficie afectada y número de incendios por tipo de ecosistema en la región Valles Centrales de 1999 al 2003.

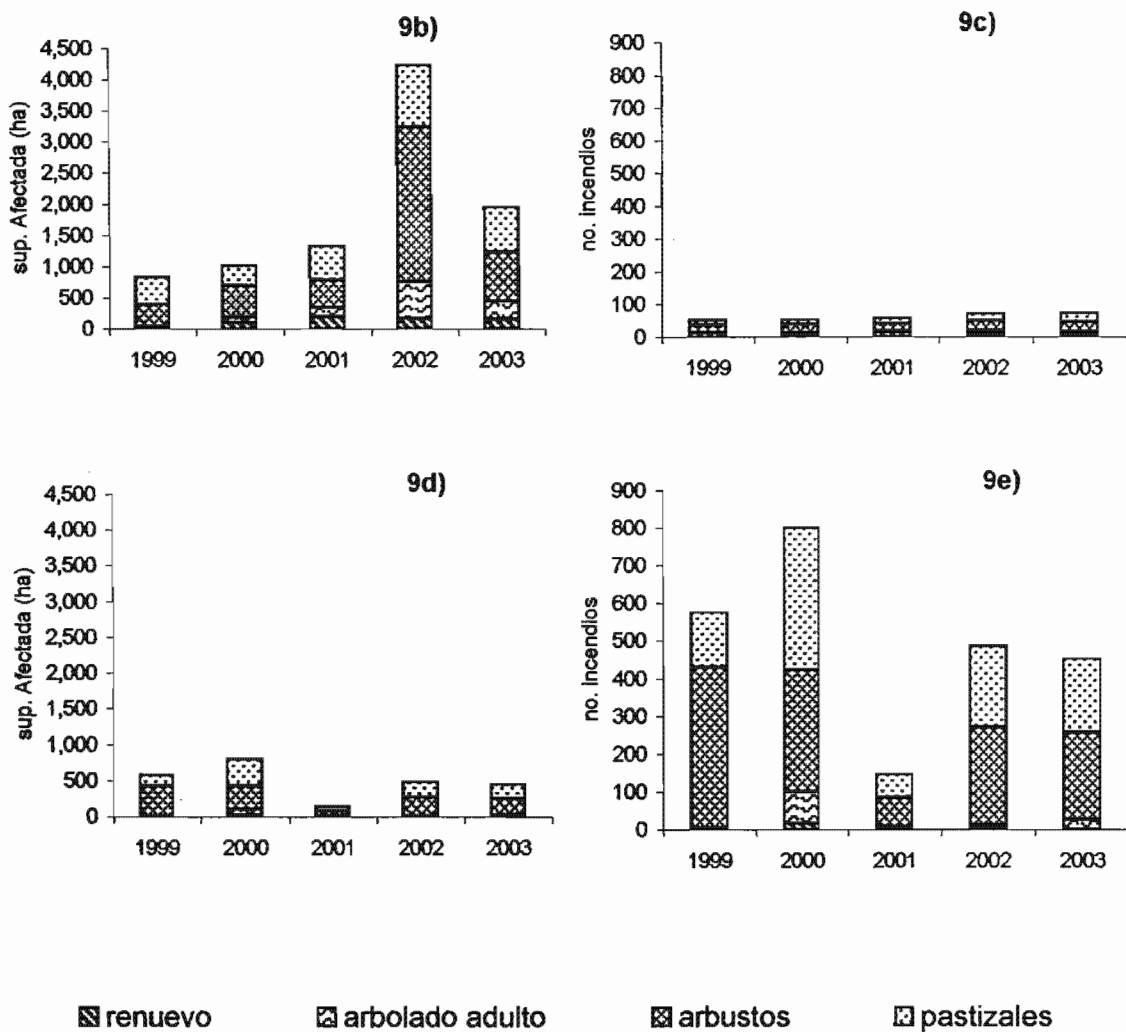
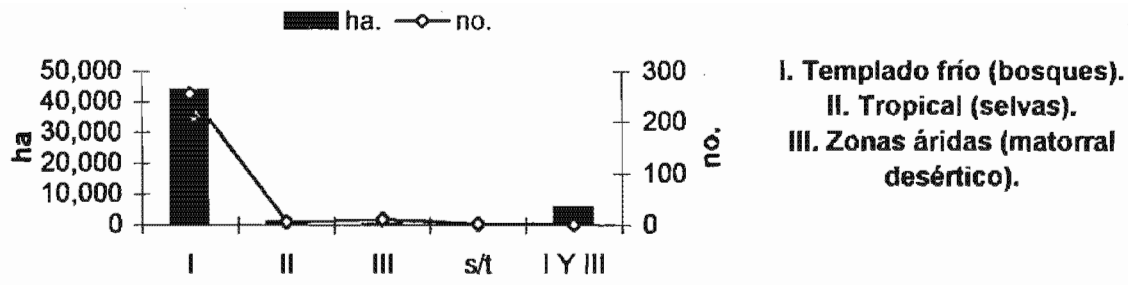
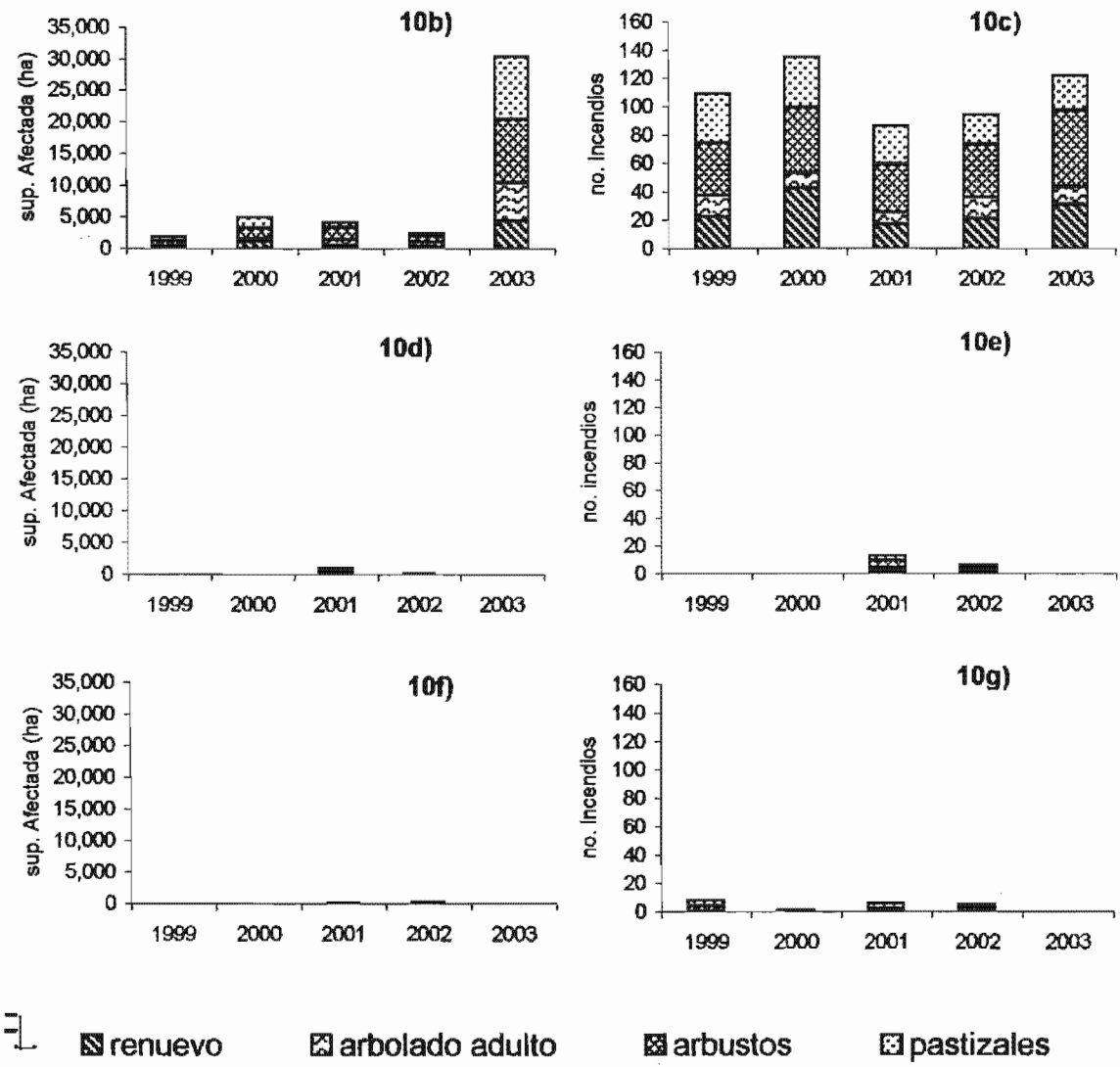


Figura 9. Superficie afectada y número de incendios por nivel de vegetación para cada ecosistema en los Valles centrales. 9b) y 9c) Templado frío (bosques), 9d) y 9e) Zonas áridas (matorral desértico).

La región de la Sierra Sur registró 43,764 ha quemadas en los bosques, el año más afectado fue el 2003 con 30,411 ha quemadas (Figura 10a), el nivel más afectado fue el de los arbustos con 10,064 ha impactadas, mientras que los pastizales registraron 9,976 ha quemadas (Figura 10b). El número total de eventos en este ecosistema fue de 256, la mayor parte se presentaron en el 2000 y 2003 (57 incendios cada uno). El nivel más afectado en estos años fueron los arbustos con 46 incendios en el 2000 y 54 en el 2003 (Figura 10c). Las selvas registraron 1,022 ha incendiadas (Figura 10a), la mayoría se quemó en el 2001 (957). Por otro lado, los arbustos registraron 246 ha quemadas, y el renuevo 220 ha afectadas (Figura 10d). Se presentaron en total 7 incendios, preferentemente en el 2001 (5 incendios), el nivel más afectado fueron los arbustos con 5 eventos (Figura 10e). Las zonas áridas registraron 248 ha quemadas (Figura 10a), el año más afectado fue el 2002 con 152 ha quemadas, y el nivel más impactado fueron los arbustos con 128 ha quemadas (Figura 10f). Hubo en total 12 incendios. Se presentó el mismo número de eventos en 1999 y 2001 (4), los niveles más afectados en 1999 fueron los arbustos y pastizales ambos con 4 eventos, mientras que para el 2001 los pastizales registraron incendios (Figura 10g). En conjunto los bosques y selvas registraron 5,857 ha quemadas en 1 evento, el cual tuvo lugar en 1999, el nivel más afectado resultó ser el de los arbustos con 3,110 ha quemadas en 1 evento. Mientras que los incendios sin tipo de ecosistema determinado registraron 19 ha quemadas en 3 incendios en el año 2003 (Figura 10a). En esta región como en el caso anterior los arbustos y pastizales son los más impactados, en la mayoría de los ecosistemas esto implica un proceso importante de cambio de cobertura. Específicamente en los bosques tropicales se registran incendios a nivel del renuevo lo que impide que el proceso de regeneración se lleve a cabo de forma eficaz.



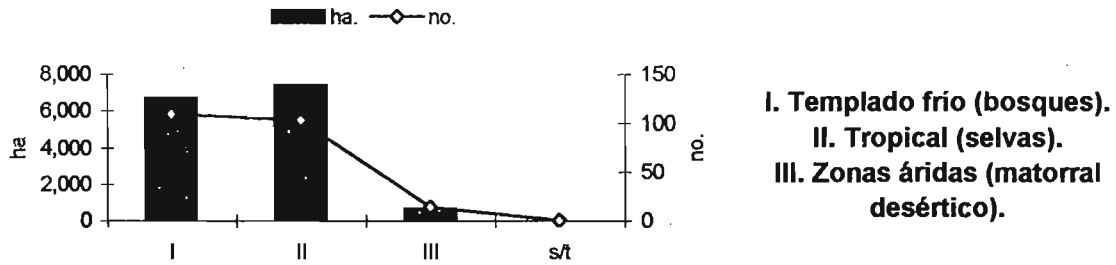
**Figura 10a. Superficie afectada y número de incendios por tipo de ecosistema en la Sierra Sur en el periodo de 1999 al 2003.**



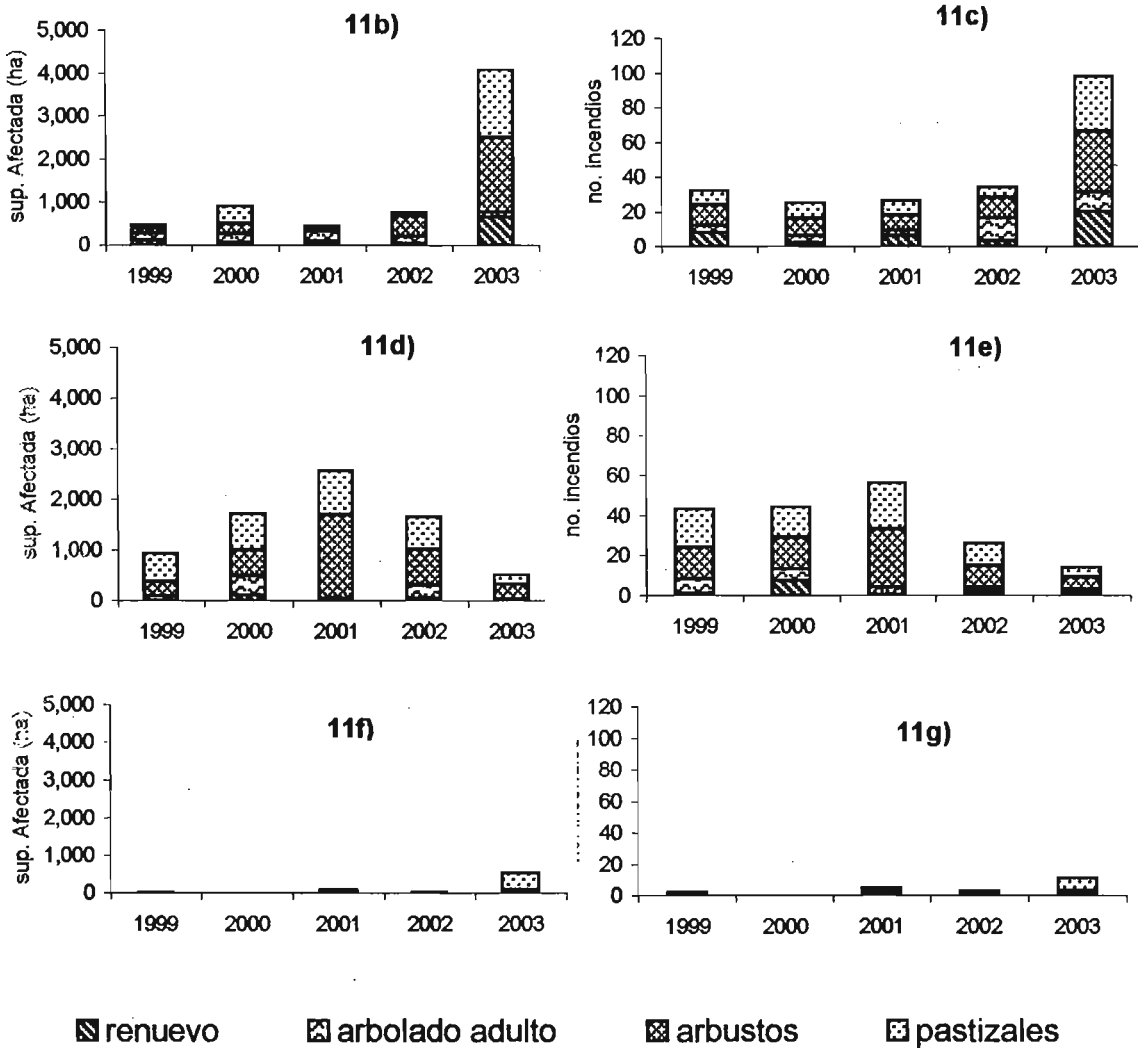
**Figura 10. Superficie afectada y número de incendios por nivel de vegetación para cada ecosistema en la Sierra Sur. 10b) y 10c) Templado frío (bosques), 10d) y 10e) Tropical (selvas), 10f) y 10g) Zonas áridas (matorral desértico).**

La región de la Costa registró 6,677 ha quemadas en los bosques templados (Figura 11a), el año con mayor afectación fue el 2003 con 4,091 ha quemadas, donde los arbustos registraron 1,742 ha quemadas, mientras que los pastizales contabilizaron 1,580 ha impactadas (Figura 11b). En cuanto al total de incendios fue 109. El año más afectado fue el 2003 (48 incendios), al nivel de los arbustos y pastizales con 35 y 32 eventos respectivamente (Figura 11c). En las selvas se quemaron en total 7,375.5 ha, donde el 2001 fue el año más afectado (2,560 ha), asimismo el nivel con más hectáreas impactadas fue el de los arbustos (1,643 ha) (Figura 11d). El número total de incendios fue de 103, la mayor parte se presentó en el 2001 con 29 eventos (Figuras 11e). Mientras que las zonas áridas registraron 657 ha quemadas. En las zonas áridas el año más afectado fue el 2003 con 540 ha impactadas, el nivel más impactado fueron los pastizales con 462 ha perturbadas (Figura 11f). El total de los incendios fue de 14, registrando la mayor parte en el 2003 con 8 eventos los cuales afectaron en su totalidad al nivel de los pastizales (Figura 11g).

El nivel arbóreo (arbustos y pastizales) de los bosques tropicales fue el más incendiado en la región de la Costa. También se registran incendios importantes por su magnitud y frecuencia en el ecosistema templado de la región (año 2003), que aunque estrictamente no formen parte de una región tropical como la Costa, la división administrativa hecha por Conafor los incluye dentro de ella. Al parecer la información de los incendios en la Costa generada por Conafor no plasma la magnitud del fenómeno de los incendios en la región, pues la imagen AVHRR (como se verá más adelante) demuestra que su frecuencia es mayor. Dado que los incendios están determinados en gran medida por el uso de la tierra (Cochrane, 2002) se estima que las áreas que tienen un cambio de cobertura más profundo y acelerado en esta región (definidas por Velázquez et al., 2003) coinciden con la localización regional de los fuegos en la Costa.

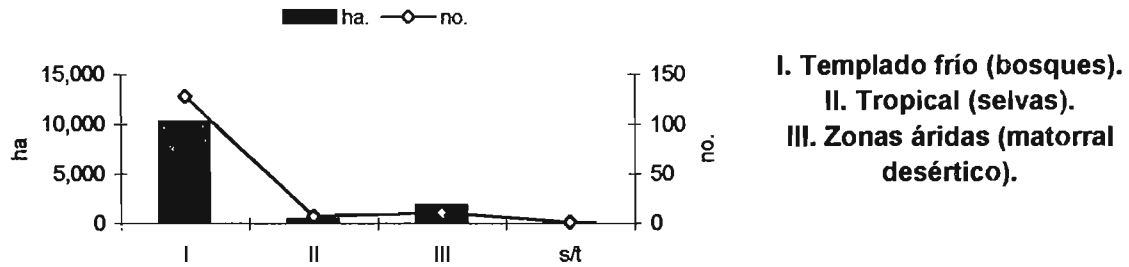


**Figura 11a. Superficie afectada y número de incendios por tipo de ecosistema en la Costa en el periodo de 1999 al 2003.**

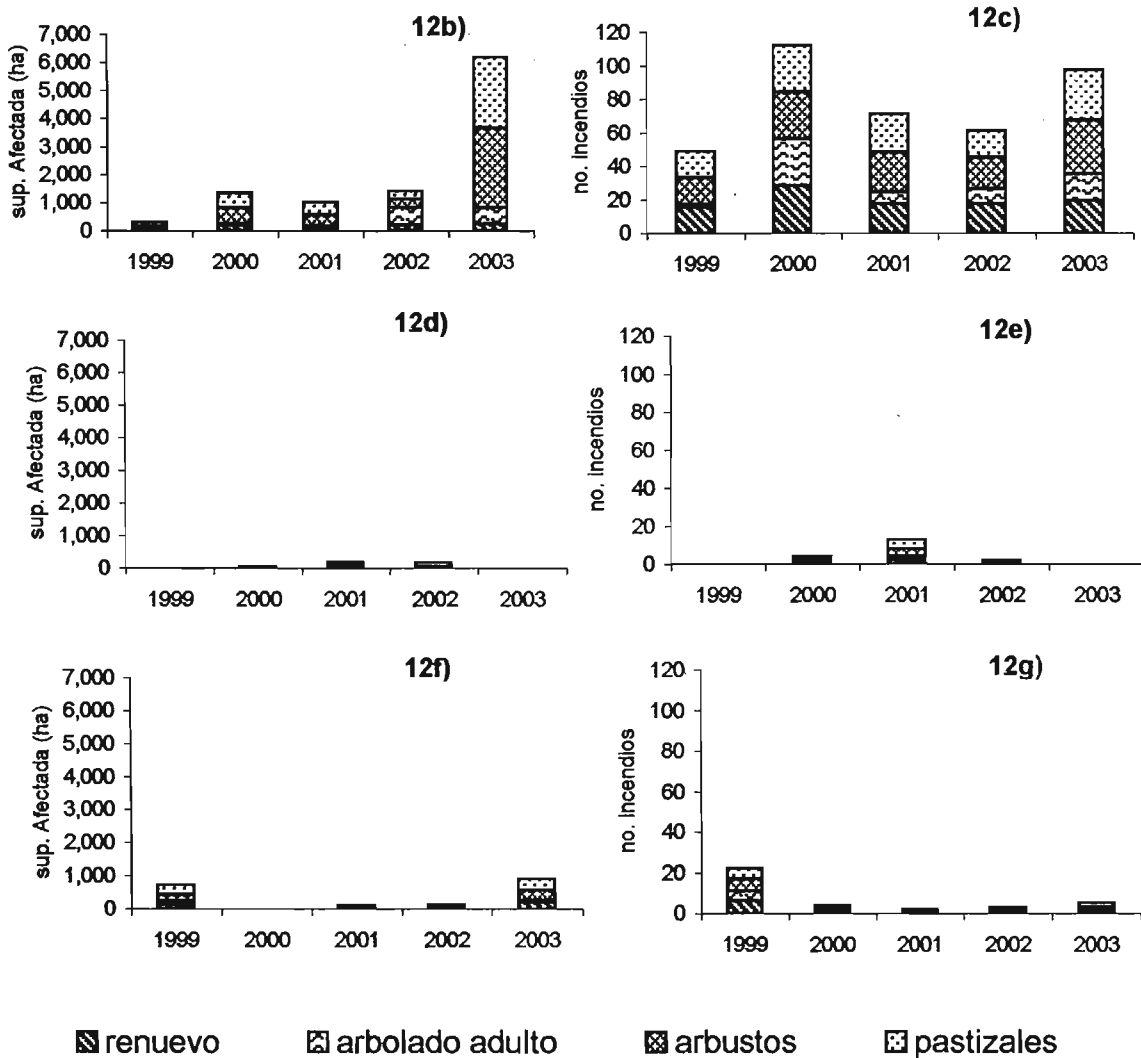


**Figura 11. Superficie afectada y número de incendios por nivel de vegetación para cada ecosistema en la Costa. 11b) y 11c) Templado frío (bosques), 11d) y 11e) Tropical (selvas), 11f) y 11g) Zonas áridas (matorral desértico).**

La región de la Mixteca registró 10,257 ha quemadas en los bosques (Figura 12a), el año más afectado fue el 2003 con 6,188 ha quemadas, el nivel más afectado resultó fueron los arbustos con 2,838 ha incendiadas, mientras que los pastizales registraron 2,534 ha afectadas (Figura 12a). El número total de incendios fue de 128, la mayor parte se presentó en el 2003 (35 eventos), siendo los niveles más afectados los arbustos (32) y pastizales (30) (Figura 12c). Las selvas registraron en total 392 ha quemadas (Figura 12a), el 2001 tuvo 182 ha afectadas, y el 2002 registró 180 ha quemadas (Figura 12d). El número de incendios total fue de 7, la mayoría se presentó en el 2001 (5 eventos) sobretodo al nivel de los arbustos (4) y pastizales (5) (Figura 12e). Las zonas áridas tuvieron 1,874 ha quemadas (Figura 12a), la mayor parte se presentaron en el 2003 (920 ha), el nivel más afectado fueron los pastizales (355 ha), mientras que los arbustos registraron 315 ha impactadas (Figura 12f). El total de incendios fue de 11, la mayor parte se presentaron en 1999 (6), y afectaron de manera homogénea a todos los niveles, ya que todos registraron entre 5 a 6 eventos (Figura 12g). Las regiones sin ecosistema determinado registraron 50 ha quemadas en 1 evento (Figura 12a). En la Mixteca los incendios actuaron de manera distinta para cada ecosistema, p.e en los bosques templados hubo la misma cantidad de incendios en todos los niveles, no obstante la superficie incendiada indica que los arbustos y pastizales son los más impactados. Aunque los estudios indican que los incendios son comunes en bosques templados (González y Rodríguez, 2004), es necesario el uso de quemas preescritas por medio de las cuales se pueda minimizar la mortalidad de los árboles, fauna, así como reducir la deforestación, erosión y contaminación. En cambio, en los ecosistemas tropicales el número de incendios y la superficie afectada es similar para todos los niveles, esto indica que los incendios en los bosques templados se extienden más ampliamente y son más frecuentes que los incendios en áreas tropicales de la Mixteca.



**Figura 12a. Superficie afectada y número de incendios por tipo de ecosistema en la Mixteca en el periodo de 1999 al 2003.**



**Figura 12. Superficie afectada y número de incendios por nivel de vegetación para cada ecosistema en la Mixteca. 12b) y 12c) Templado frío (bosques), 12d) y 12e) Tropical (selvas), 12f) y 12g) Zonas áridas (matorral desértico).**



La región de la Sierra Norte registró 8,087 ha quemadas en el ecosistema templado frío (Figura 13a), el año más afectado fue el 2003 con 4,233 has afectadas, la mayor parte se registró en el arbolado adulto con 1,968.5 ha quemadas, mientras que los arbustos registraron 1,608 ha impactadas (Figura 13b). Hubo 155 incendios en este ecosistema la mayor parte se presentaron en el 2003 (44), estos incendios afectaron sobretodo al nivel de los arbustos con 37 eventos (Figura 13c). La región de las selvas registró 2,146 ha afectadas (Figura 13a), el año más afectado fue 1999 con 1,340 ha quemadas, afectaron mayormente al nivel de los pastizales con 563 ha quemadas, mientras que los arbustos registraron 457 ha quemadas (Figura 13d). El total de incendios fue de 13, los cuales se presentaron sobre todo al año de 1999 (5), mientras que los niveles más afectados fueron los arbustos y pastizales con 4 eventos (Figura 13e). Los incendios sin tipo de ecosistema registraron 30 ha quemadas en 4 eventos (Figura 13a).

El régimen espacial y temporal de los incendios en la Sierra Norte indica que actualmente hay incendios a nivel arbóreo (arbustos y pastizales), no obstante también existen incendios en el arbolado adulto, lo cual raramente ocurre en el resto de las regiones (exceptuando 1998). Este patrón debe tener especial atención, pues si son frecuentes eliminan completamente la vegetación existente. La superficie impactada y el número de eventos indican que los incendios en los bosques templados son los más importantes, porque ocurren en bosques de pino, y aunque estos tienen un régimen natural de incendios, el exceso de fuego antrópico, principalmente relacionado con el pastoreo ha degradado considerablemente este ecosistema. Esto implica que es necesario aplicar políticas de manejo del fuego que estén enfocados a conservar, restaurar o volver productivos a los bosques, y educar a los usuarios del fuego y a la opinión pública acerca de sus efectos.

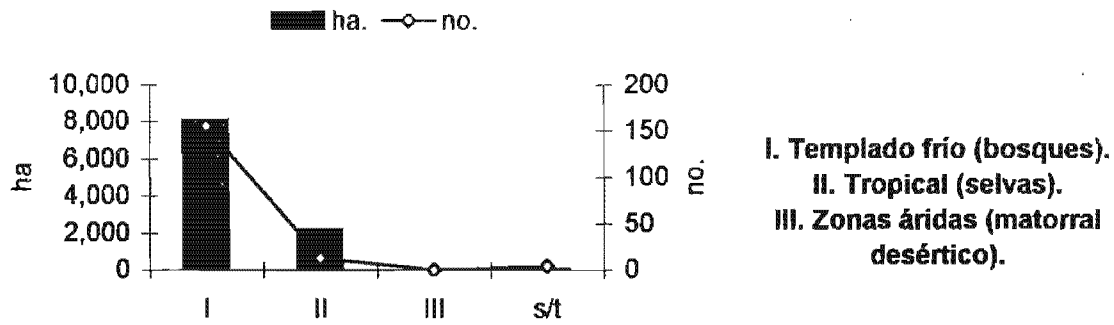


Figura 13a. Superficie afectada y número de incendios por tipo de ecosistema en la Sierra Norte en el periodo de 1999 al 2003.

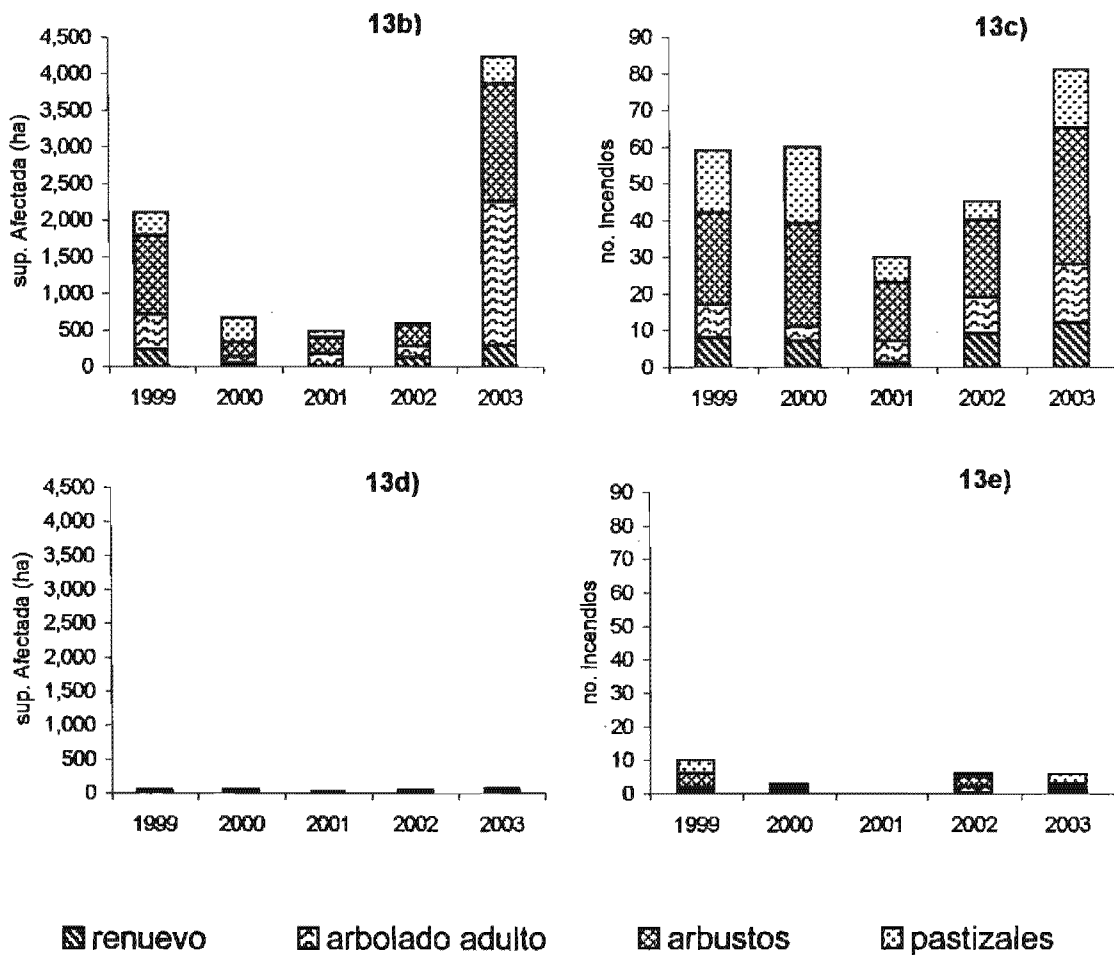


Figura 13. Superficie afectada y número de incendios por nivel de vegetación para cada ecosistema en la Sierra Norte. 13b) y 13c) Templado frío (bosques), 13d) y 13e) Tropical (selvas).

El Istmo registró 33,838 ha quemadas en la región de los bosques (Figura 14a), el año más afectado fue el 2002 con 16,570 ha afectadas, el nivel más afectado resultó ser el de los pastizales 6,300 ha impactadas, mientras que los arbustos registraron 4,871.5 ha quemadas (Figura 14b). En total de eventos fue de 103, Los incendios fueron más numerosos en el 2003 (37), y a los niveles de arbustos y pastizales fueron los más afectados con 312 y 33 incendios respectivamente (Figura 14c). Las selvas registraron 3,125 ha afectadas (Figura 14a), el año más afectado fue el 2002 con 2,511 ha quemadas, mientras que el nivel más afectado fue el de los pastizales con 1,987 ha quemadas (Figura 14d). El total de incendios fue de 29, mientras que el año más afectado fue el 2001 con 11 eventos, y el nivel más afectado fueron los pastizales con 8 eventos (Figura 14e). Las zonas áridas registraron 123.5 ha impactadas (Figura 14a), el año el 2001 fue el más afectado con 80 ha quemadas, que solo afectaron el nivel de los pastizales. El número de incendios fue de 5 y se presentaron sobretodo en 1999, que afectaron sobretodo a los arbustos con 4 eventos (Figura 14a). Mientras que hubo incendios que afectaron a los tres ecosistemas en conjunto en el año 2002, con 900 ha quemadas en 1 incendio; afectando sobretodo a los pastizales (648 quemadas en 1 evento), mientras que todos los niveles registraron 1 incendio (Figura 14f).

Finalmente en el año 2003 hubo 2,735 ha quemadas de las cuales no se determinó el tipo de ecosistema donde se presentó, pero el nivel más afectado fue el de los arbustos (1,355 ha), mientras que 1,340 ha se quemaron al nivel de los pastizales. El número de incendios que se presentaron fue de 6, los cuales se presentaron por igual en arbustos y pastizales (Figura 14g). Este análisis desafortunadamente no contempla los datos de 1998 en ninguna de las regiones, sin embargo, a partir de 1999 el patrón de incendios en el paisaje de esta región ubica a los bosques templados como los más impactados.

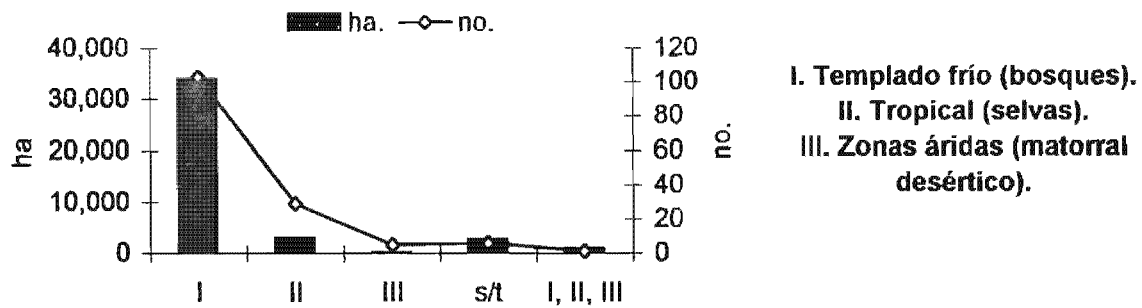


Figura 14a. Superficie afectada y número de incendios por tipo de ecosistema en el Istmo en el periodo de 1999 al 2003.

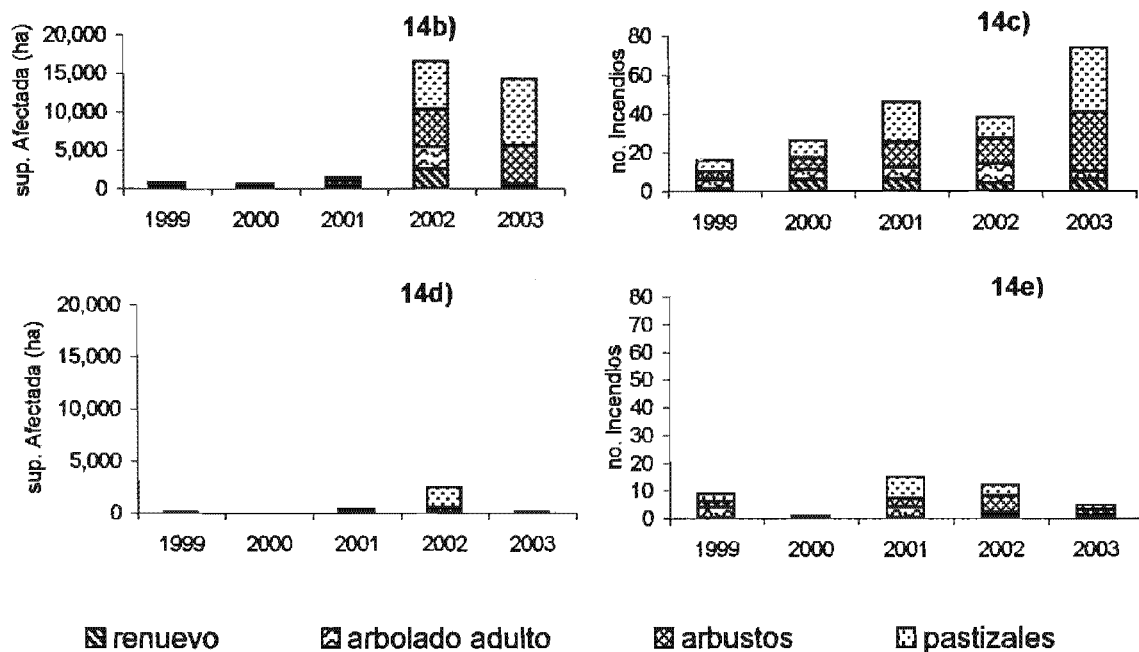


Figura 14. Superficie afectada y número de incendios por nivel de vegetación para cada ecosistema en el Istmo. 14b) y 14c) Templado frío (bosques), 14d) y 14e) Tropical (selvas).

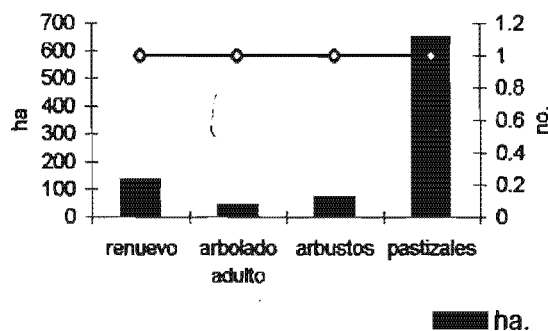


Figura 14f. Superficie afectada y número de incendios por nivel de vegetación en los tres tipos de ecosistemas en el Istmo.

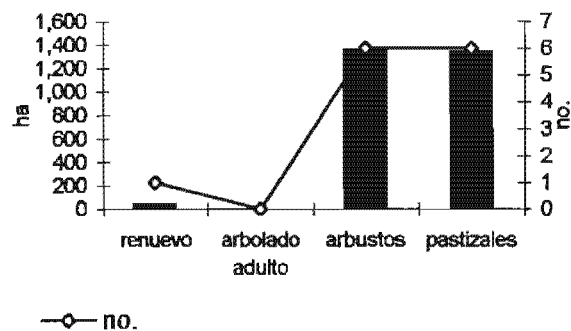


Figura 14g. Superficie afectada y número de incendios sin tipo de ecosistema determinado en el Istmo.

La región de la Cañada registró 1,951 ha quemadas en el ecosistema templado frío (Figura 15a), el año más afectado fue el 2003 con 1,095 ha impactadas, el nivel más afectado fue el de los arbustos con 488 ha quemadas (Figura 15b). El número total de incendios fue de 37 y en 1999 y el 2003 se presentaron con mayor frecuencia con 10 y 11 incendios respectivamente, mientras que en 1999 el nivel más afectado fueron los arbustos con 7 incendios, y para el 2003 el arbolado adulto, los arbustos y pastizales registraron entre 8 y 9 eventos (Figuras 15c). Las selvas registraron 100 ha quemadas mientras que el año más afectado fue el 2002 con 80 ha quemadas que solo afectó a los arbustos. El número de incendios fue de 2 y se presentaron en 1999 y el 2002, afectando a los niveles de pastizales y arbustos con 1 evento cada uno (Figura 15a). Los bosques y regiones áridas registraron en conjunto 570 ha quemadas en 2 incendios los cuales solo se presentaron en el 2001. Los bosques y selvas registraron 1 incendio en el 2002 el cual afectó a 30 ha en 1 evento. Mientras que 130 ha quemadas en 1 incendio se registraron como no determinadas (Figura 15a).

En la Cañada los niveles más afectados fueron arbustos y pastizales, aunque hubo eventos al nivel del arbolado adulto que implican incendios de alta severidad. Esta no es una región significativamente afectada por incendios, no obstante, al igual que en las regiones anteriores el bosque templado tuvo los efectos más importantes. En esta y otras regiones donde se presenta el fuego (de forma natural o antrópica) en los bosques templados se debe hacer un uso de técnicas que maximicen sus impactos positivos, como el reciclaje de la materia orgánica para favorecer la disponibilidad de nutrientes, regeneración, hábitat adecuado para la fauna, heterogeneidad para favorecer la diversidad, los usos silvícolas de conservación y tradicionales y reducción de peligro de incendios más intensos (González y Rodríguez, 2004).

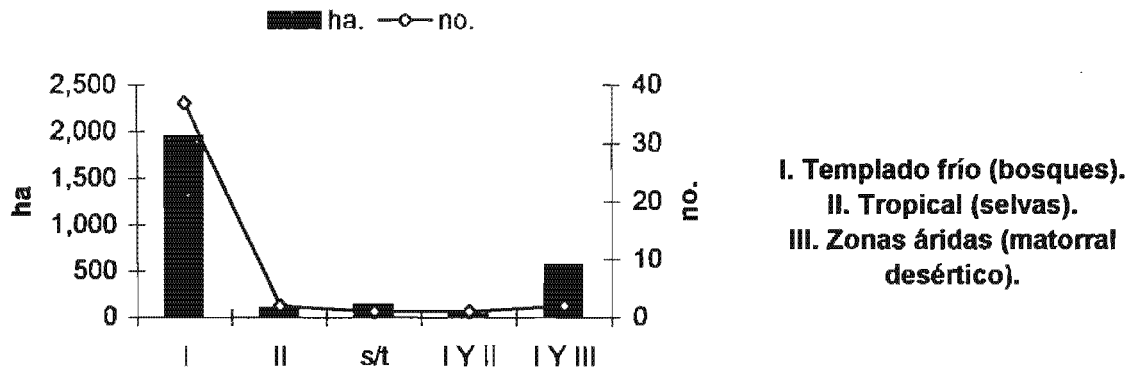


Figura 15a. Superficie afectada y número de incendios por tipo de ecosistema en la Cañada en el periodo de 1999 al 2003.

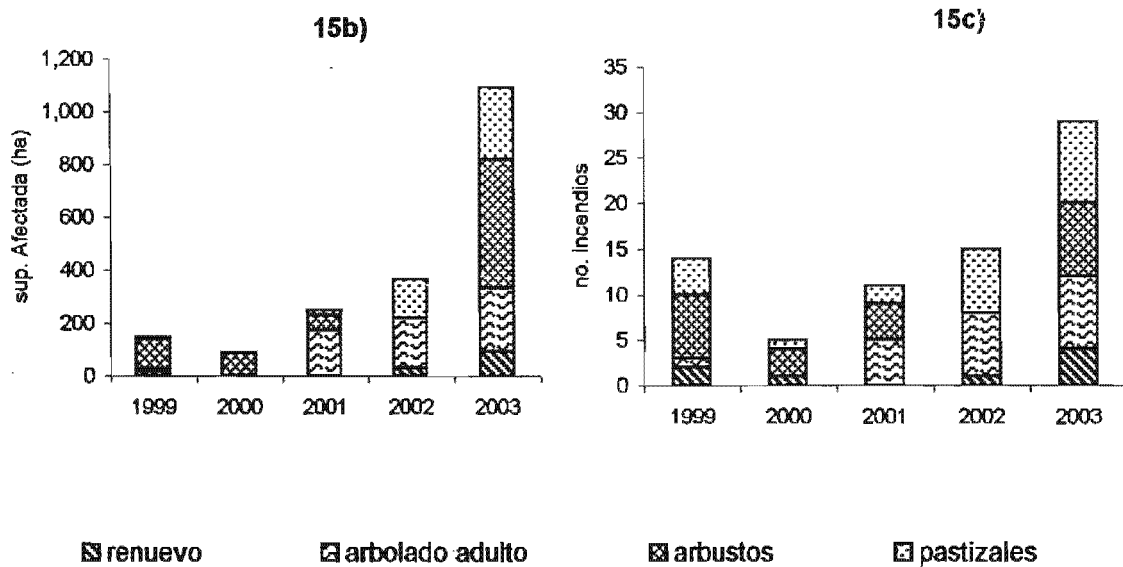


Figura 15. Superficie afectada y número de incendios por nivel de vegetación para cada ecosistema en la Cañada. 15b) y 15c) Templado frío (bosques).

La región del Papaloapan registró 1,717 ha quemadas en los bosques (Figura 16a), el año más afectado fue el 2003 (1,383 ha quemadas), donde el nivel más afectado fue el arbolado adulto (601 ha quemadas) (Figura 16b). El número de incendios total fue de 8, la mayoría se presentaron en el 2003 (4) y afectaron sobretodo a los niveles de arbolado adulto y arbustos con 3 eventos cada uno (Figura 16c). Las selvas registraron 5,000 ha quemadas, el año más afectado resultó ser el 2002 con 2,975 ha quemadas, de los cuales el nivel más afectado fueron los arbustos con 1,545 ha afectadas, mientras que el arbolado adulto registró 1,080 ha impactadas, mientras que 1999 registró 2,011 has quemadas, el nivel más afectado fueron los arbustos con 1,211 ha quemadas (Figura 16d). El total de incendios fue de 42, la mayor parte se presentó en 1999 con 22 eventos, los cuales afectaron a los arbustos con 19 eventos (Figura 16e). Las zonas áridas registraron 1.25 ha quemadas en 1 evento el cual solo afectó a los arbustos (Figura 16a). Los bosques y selvas registraron en conjunto 150 ha afectadas en 1 evento que afectó al nivel de el arbolado adulto con 100 ha quemadas en 1 incendio. Las regiones sin ecosistema determinado registraron 150 ha quemadas en 1 incendio. Respecto a los incendios en regiones no determinadas o bien en más de una región se observa que ocurren en el ecosistema templado frío en el primer caso y en las zonas áridas encunado hay incendio en dos o más regiones al mismo tiempo (Figura 17 y 18).

El patrón de distribución indica que los incendios se concentran predominantemente en los bosques templados (coníferas) del estado de Oaxaca, estos actualmente ocupan cerca del 40% de la superficie estatal según lo reportado por Velázquez et al (2003) e INEGI (2005). En los paisajes dominados por ecosistemas de tipo templado, los incendios son los disturbios más comunes (Jardel et al., 2003). En ellos los incendios dañan la regeneración, debilitan el arbolado adulto, lo hacen susceptible a ataques de plagas y enfermedades, y

reducen el valor económico de los productos forestales (Cenapred, 1999), además los bosques templados están asociados a brotes de insectos y estados añejos de crecimiento o normalizados (Jardel, 2003; Flannigan et al., 2000). Sin embargo, algunas especies de los bosques templados como los pinos están adaptadas a los incendios forestales y necesitan del fuego para llevar a cabo procesos como la regeneración, la sucesión y estructurar la continuidad vertical del combustible (González y Rodríguez, 2004). Por lo tanto, la presencia de los incendios en los ecosistemas templados no es lo que se distingue, sino más bien, la superficie incendiada en cada evento. Esto los convierte en áreas prioritarias para llevar a cabo medidas de mitigación de incendios que disminuyan la superficie incendiada, pero que no signifique que su exclusión, ya que no son la mejor opción para la conservación y manejo de los ecosistemas forestales (González y Rodríguez, 2004).

Por otro lado, Jardel (2003) asegura que es difícil que los bosques tropicales tengan regimenes naturales de incendios; los fuegos se presentan en raras ocasiones en los bosques tropicales, ya que tienen lugar durante las pocas semanas sin lluvia (Stolle y Lambin, 2003), cuando las plantas y los árboles caducifolios son más susceptibles al daño. En el caso de Oaxaca el estatus hídrico de las comunidades forestales del trópico parece estar fuertemente influenciado por eventos periódicos como *El Niño*, al igual que en Chiapas, México, donde Roman-Cuesta (2004) encontró la misma relación para los incendios ocurridos en los bosques tropicales de ese estado.

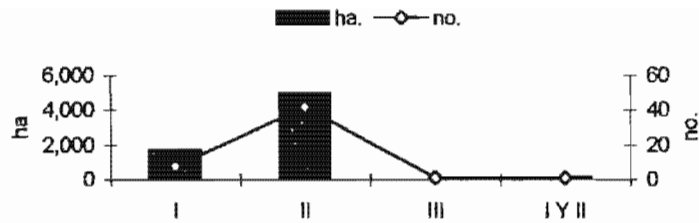
La mayoría de las especies en los bosques tropicales son muy susceptibles al fuego y tanto su severidad como sus efectos pueden ser muy altos, (Jardel, 2003, Cochrane, 2002). Cuando el bosque tropical se quema, se vuelve más vulnerable a nuevos incendios, y se convierten en una amenaza para la recuperación de los bosques a largo plazo (Villers y López, 2004). Aunado a la importancia de los incendios en los bosques templados, los



incendios en los bosques tropicales deben ser sometidos a manejo para su disminución y erradicación; pues aunque la superficie afectada y la presencia de incendios es menor que en los bosques templados, sus efectos son potencialmente severos y dejan secuelas más graves que en el resto de los ecosistemas (Cocharane, 2002). Los efectos pueden ser más graves en regiones que tienen extensos periodos de sequía, extracción maderera selectiva y grandes poblaciones (Cocharane, 2002).

En los ecosistemas secos, los factores que intervienen en la mayoría de los incendios son el patrón de distribución y la abundancia de los combustibles (Villers y López, 2004). Básicamente los cambios en los tipos de vegetación dominante de este tipo de paisaje están ligados a los cambios en el riesgo de incendios (Russell y McBride, 2003), de alguna forma este ecosistema se ha adaptado al fuego en diferentes grados. No obstante existen incendios extensos y poco frecuentes en Oaxaca, que pueden presentar cierta vinculación con los patrones específicos del clima (Villers y López, 2004); y que se localizan al nivel de los arbustos y pastizales (sobre todo en la región de los Valles Centrales). Estos datos coinciden con el estudio realizado por Velázquez et al (2003) donde se indica que la vegetación xerófito de Oaxaca experimenta una disminución del 40% debido a su conversión a pastizales, y como se ha visto en otros ecosistemas el principal uso que se le da a las áreas convertidas es la introducción del ganado vacuno y/o la práctica de la agricultura.





I. Templado frío (bosques).  
 II. Tropical (selvas).  
 III. Zonas áridas (matorral desértico).

Figura 16a. Superficie afectada y número de incendios por tipo de ecosistema en el Papaloapan en el periodo de 1999 al 2003.

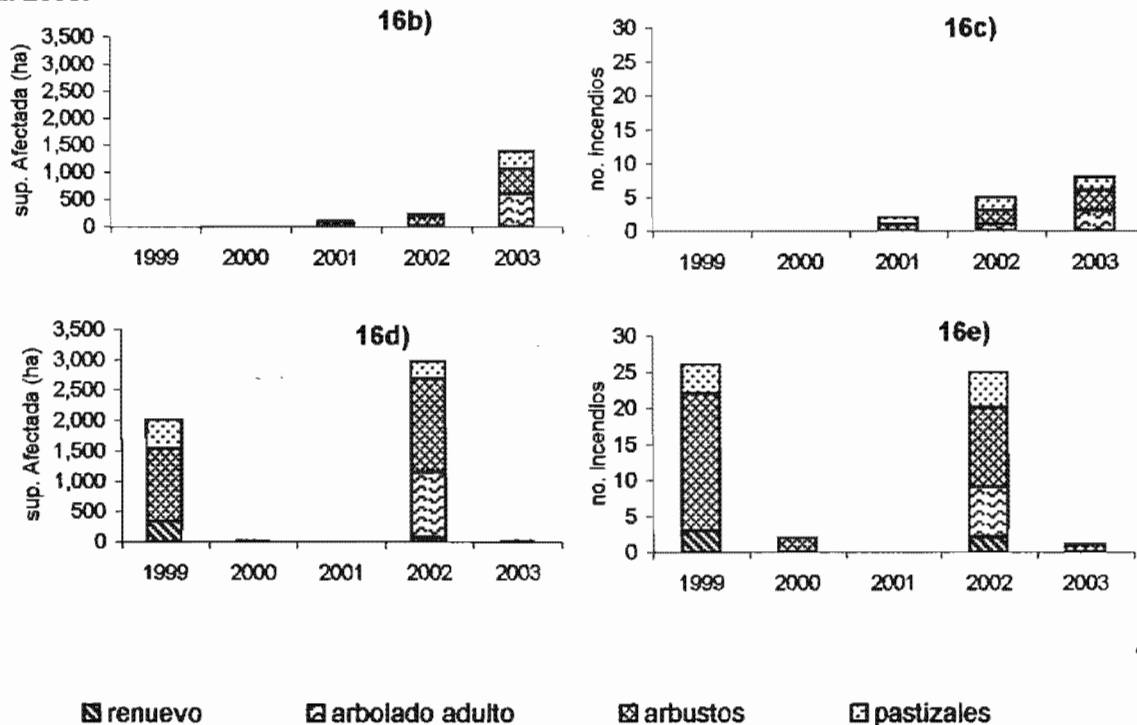


Figura 16. Superficie afectada y número de incendios por nivel de vegetación para cada ecosistema en el Papaloapan. 16b) y 16c) Templado frío (bosques), 16d) y 16e) Tropical (selvas).

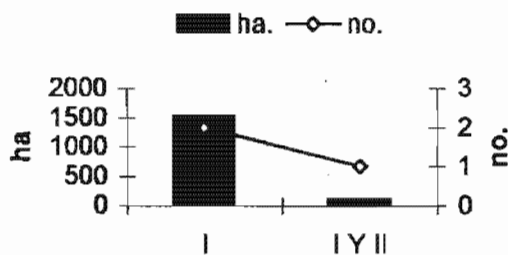


Figura 17. Superficie afectada y número de incendios por tipo de ecosistema, en más de una región en el periodo de 1999 al 2003.

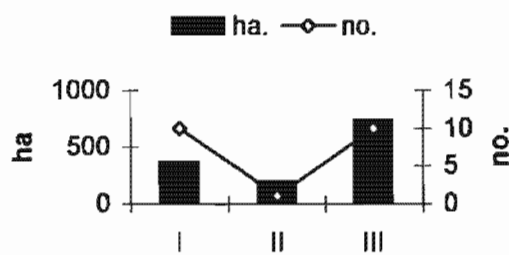


Figura 18. Superficie afectada y número de incendios por tipo de ecosistema, en regiones no determinadas en el año 2002.

#### ***2.1.4 Distribución regional de los incendios por tipo de evento***

Se entiende por tipo de evento a la caracterización que se hace según la parte afectada de la vegetación por incendios y la severidad de estos (superficiales, de copa, subterráneos y mixtos). Esta caracterización fue proporcionada por la Comisión Nacional Forestal en la base de datos antes mencionada. Una limitante es que no se contó con los datos del año 1998, por lo que el análisis de esta información se realizó a partir de 1999.

En los Valles Centrales los incendios superficiales afectaron 7,369 ha, en 286 incendios, los cuales se repartieron de manera diferencial de 1998 al 2003 (Figura 19a). El 2002 fue el más afectado (2,534.5 ha incendiadas) (Figura 19b). En 1999 hubo 68 incendios y en el 2001 se registraron 67 (Figura 19c). Los incendios de copa afectaron 94 ha en 6 eventos (Figura 19a), el año más afectado fue el 2001 (63 ha), donde el único nivel afectado fue el arbolado adulto (63 ha quemadas en 3 eventos) (Figuras 19d y 19e). Los incendios de tipo mixto contabilizaron 9,297.5 ha incendiadas en 249 incendios (Figura 19a), el año más afectado fue el 2002 (2,169 ha) (Figura 19f). El año 2002 registró el mayor número de incendios, y el año 2003 registró solo 6 (Figura 19g).

Los incendios superficiales (en arbustos y pastizales) y los de tipo mixto (en arbustos) son los más frecuentes, por otro lado la presencia de los demás tipos de incendios es mínima. Estos resultados sugieren que la presencia de los incendios obedece a actividades eminentemente antrópicas y que los efectos del régimen natural han sido maximizados. El fuego es usado frecuentemente, en ésta y en las demás regiones, en el nivel arbóreo con el propósito de favorecer el proceso de regeneración ya que se considera que es una herramienta que mantiene la productividad, la calidad del follaje y la composición de los pastizales, lo cual, es beneficioso para el ganado vacuno (Kauffman et al., 2003).

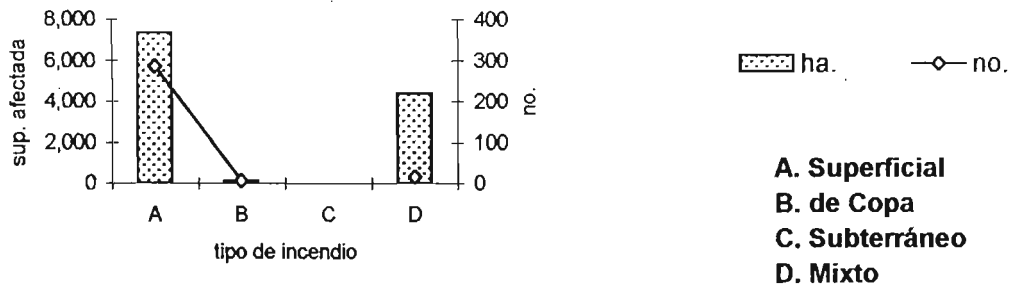


Figura 19a. Superficie afectada y número de incendios por tipo de evento en los Valles Centrales.

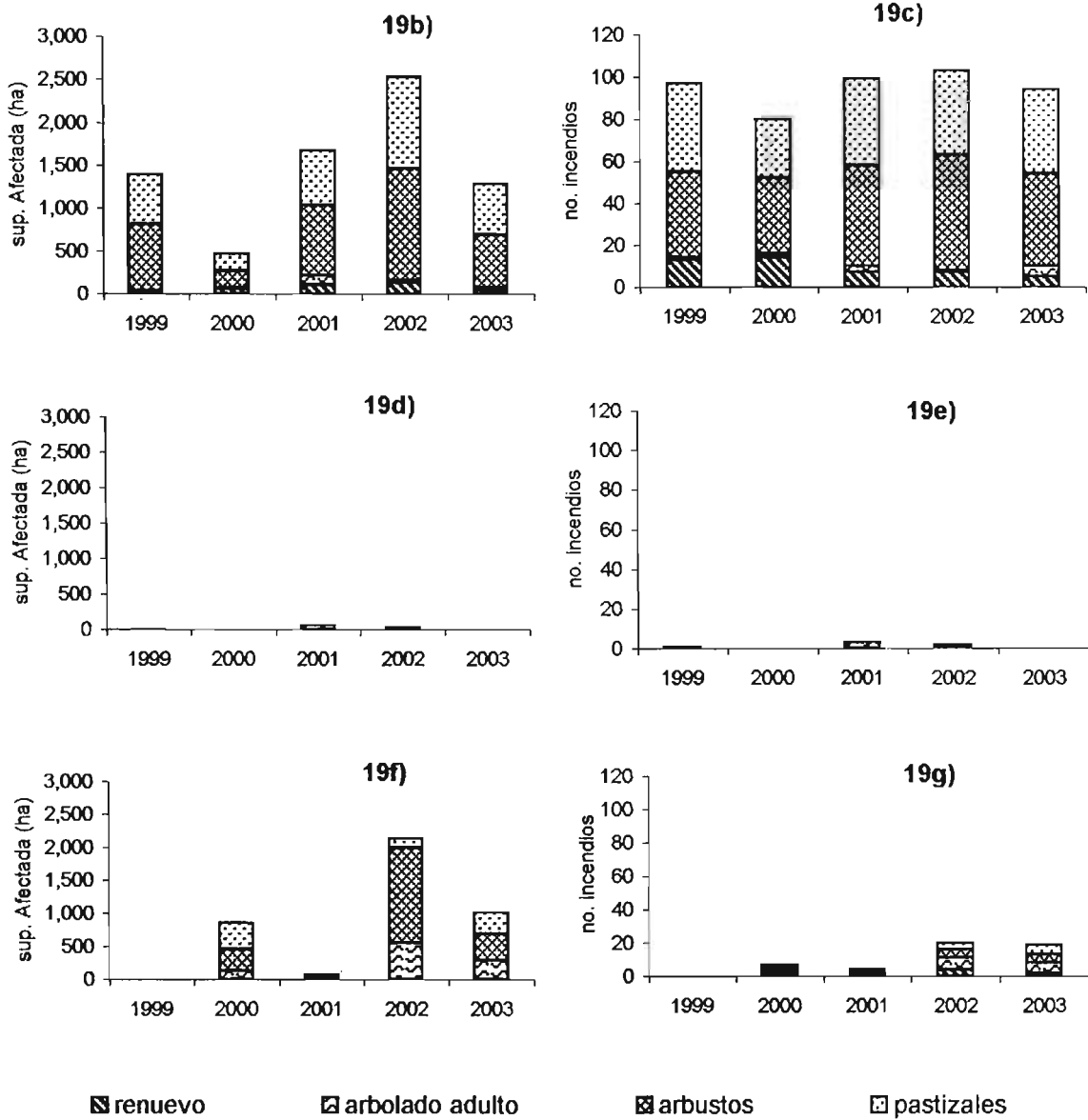


Figura 19. Superficie afectada y número de incendios en los Valles Centrales por nivel de vegetación, para cada tipo de incendio, de 1998 al 2003. 19b y 19c) Superficial, 19d y 19e) De copa, 19f y 19g) Mixto.

En la Sierra Sur los incendios de tipo superficial afectaron 13,832 ha en 233 eventos (Figura 20a), el año más afectado con este tipo de incendio fue 2003 con 5,851 ha afectadas, (Figura 20b). El año con la mayor frecuencia de eventos fue el 2000 con 56 (Figura 20c). Los incendios de copa sumaron 382.5 ha quemadas en 2 incendios (Figura 20a), el año que resultó más afectado fue el 2003 con 280 ha incendiadas en 1 evento (Figura 20d y 20e). Los incendios de tipo mixto sumaron 36,670 ha incendiadas en 38 incendios (Figura 20a), se concentraron en el 2003 donde hubo 24,280 ha quemadas en 8 eventos (Figura 20f). También hubo incendios que no fue posible determinar su tipo, los cuales sumaron 26 ha incendiadas en 4 eventos (Figuras 20a, h, i).

En el paisaje de esta región predominan los incendios superficiales, lo relevante es que no solo se presentan en arbustos y pastizales, sino también en arbolado adulto y renuevo, lo cual indica que se pueden estar eliminando plantas semilleras de coníferas, árboles jóvenes y brotes, estos efectos ya han sido documentados por Odion et al (2004). Sin embargo los incendios superficiales no son muy extensos y frecuentes en la Sierra Sur, sus implicaciones son escasas y por lo tanto la vegetación afectada puede regenerarse con mayor efectividad.

Por otro lado, los resultados son muy claros en el sentido de que los eventos de tipo mixto son significativamente extensos. Los estudios de Odion et al (2004) indican que la presencia de este tipo de incendios está dada por el clima, los gradientes edáficos y lo accidentado de la topografía, en este caso los eventos se extendieron preferentemente en el 2003 que en el resto de los años de estudio (para todos los niveles), lo cual indica que los factores mencionados hacen que la frecuencia del fuego y la severidad sean altamente variables.

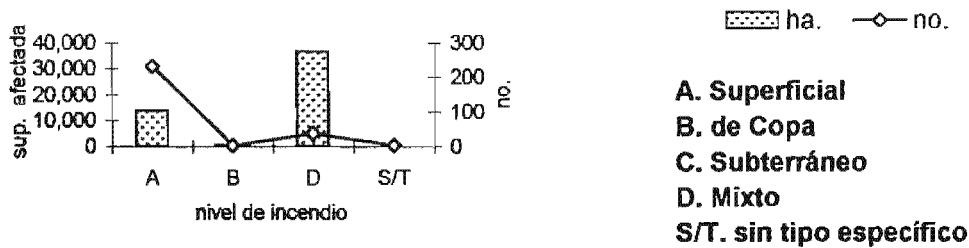


Figura 20a. Superficie afectada y número de incendios por tipo de evento en la Sierra Sur.

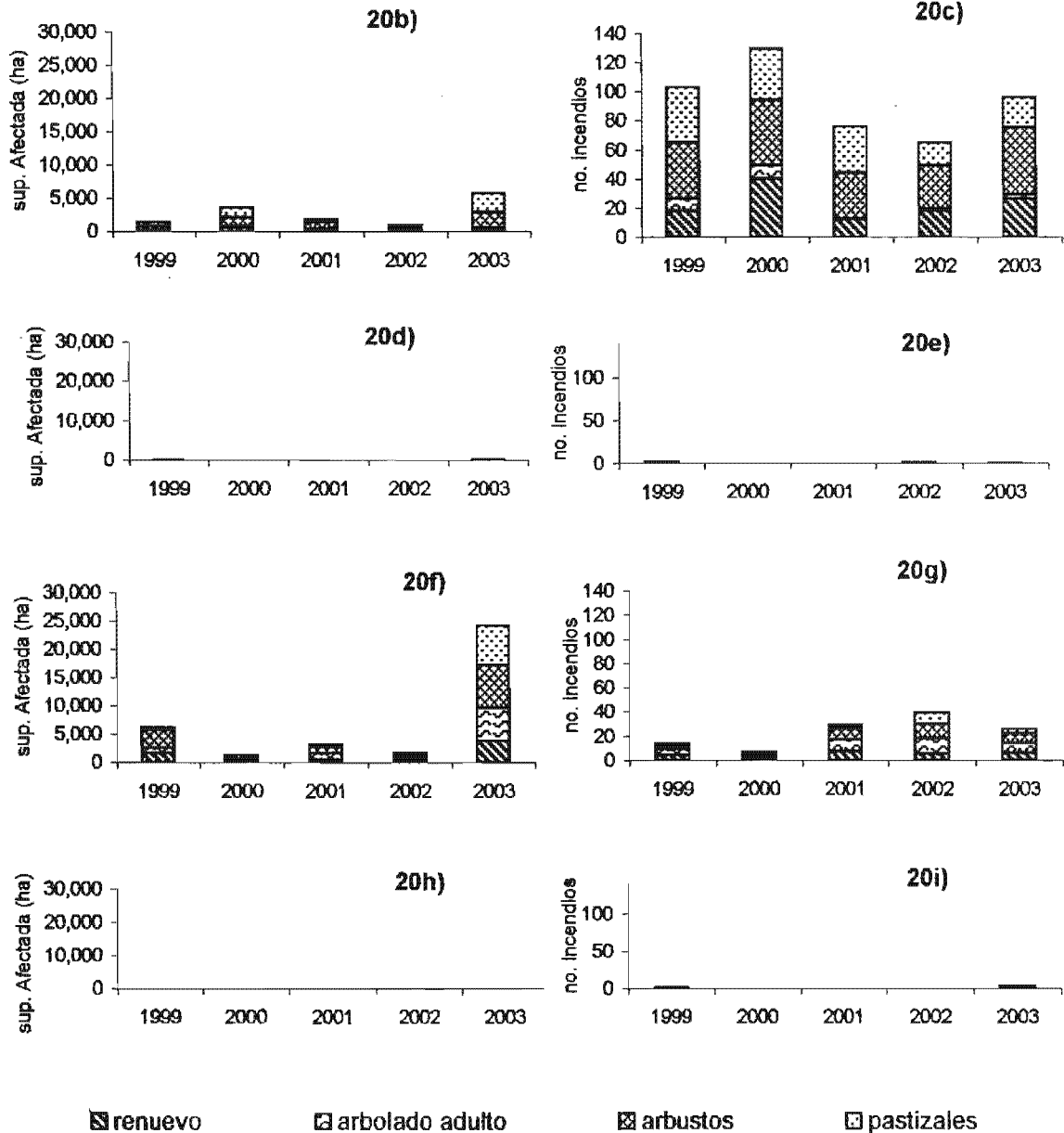
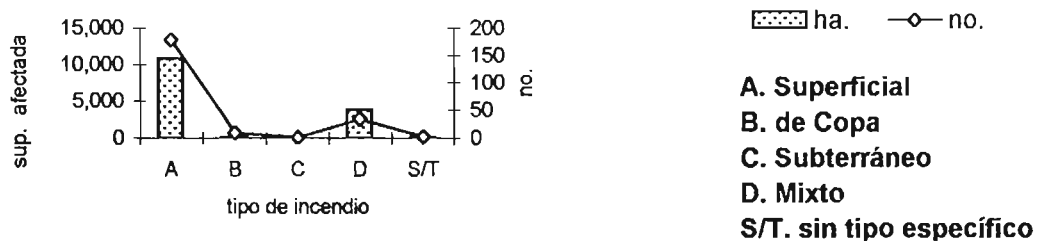


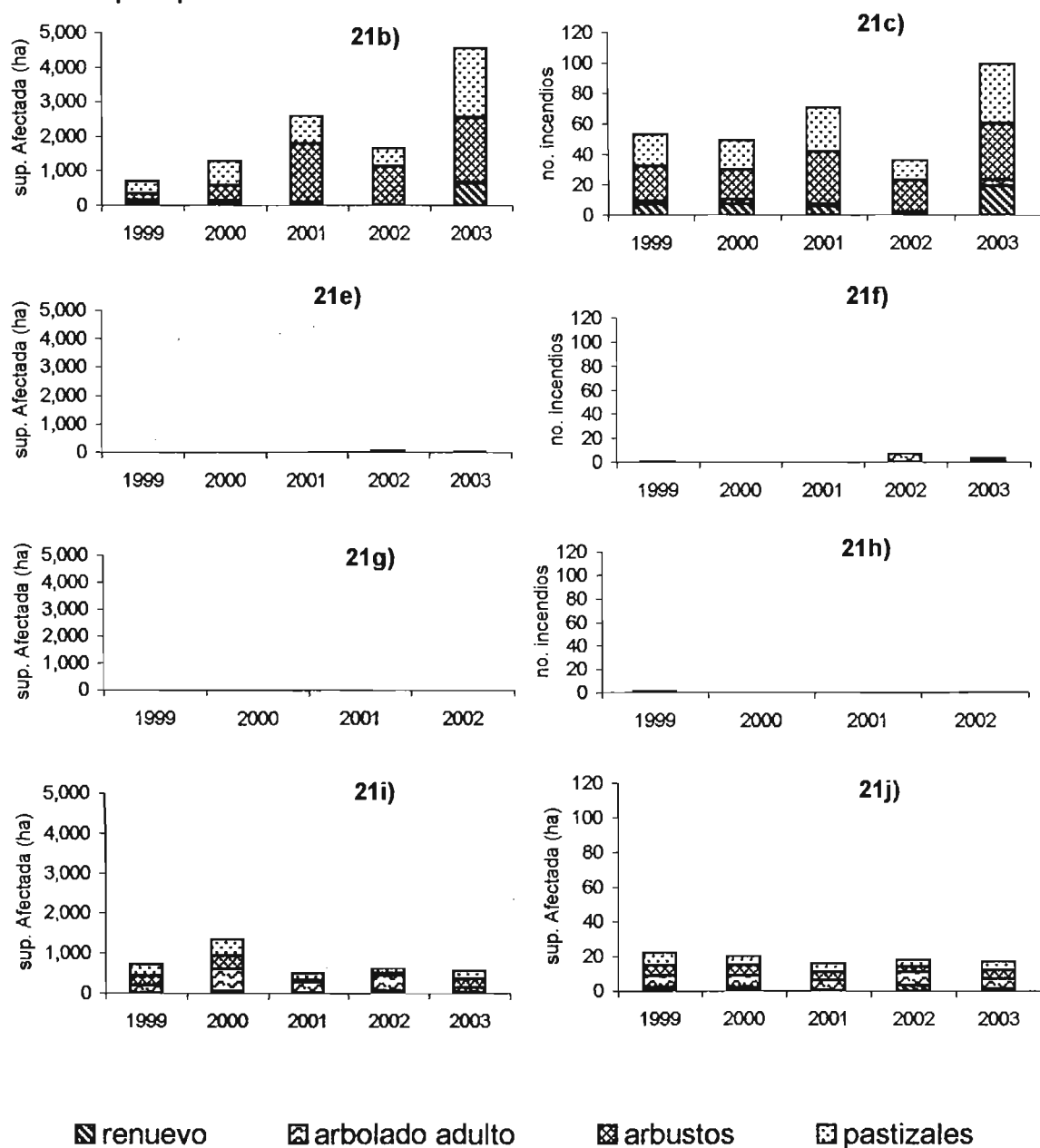
Figura 20. Superficie afectada y número de incendios en la Sierra Sur por nivel de vegetación, para cada tipo de incendio, de 1998 al 2003. 20b y 20c) Superficial, 20d y 20e) De copa, 20f y 20g) Mixto, 20g y 20i) Sin tipo específico.

En la región de la Costa los incendios de tipo superficial afectaron en total 10,774.5 ha en 179 incendios (Figura 21a). El año más afectado con este tipo de incendio fue el 2003 con 4,559 ha quemadas (Figura 21a, b y c). Los incendios subterráneos quemaron 3 ha en 1 evento (Figuras 21f y 21g). En contraste, los incendios de tipos mixto quemaron en total 3,764 ha (Figura 21a), el año más afectado con este tipo de incendio fue el 2000 con 1,340 ha quemadas (Figura 21h) (Figura 21a y i). Los incendios a los que no se les pudo determinar un tipo específico de incendio sumaron 114 ha quemadas en 2 incendios, el año más afectado fue el 2002 con 110 ha quemadas en 1 incendio (Figura 21a).

Los incendios en la Costa fueron sustancialmente superficiales e impactaron a los arbustos y pastizales. Cabe mencionar que en México es el tipo de incendio más frecuente (poco más del 90%) (Cenapred, 1999). Su patrón espacio-temporal está controlado por las variaciones en los combustibles finos de estos niveles, entre sus efectos más importantes es que deterioran sumamente la regeneración natural y la reforestación. No obstante que la presencia de las quemadas es común en ellos, una alteración como las sequías (en este caso 2003) significaría un cambio de estructura y la presencia de eventos mas severos en la región (Schoennagel et al., 2004).



**Figura 21a. Superficie afectada y número de incendios por tipo de evento en la Costa.**



**Figura 21. Superficie afectada y número de incendios en la Costa por nivel de vegetación, para cada tipo de incendio, de 1998 al 2003. 21b y 21c) Superficial, 21d y 21e) De copa, 21f y 21g) Subterráneo, 21g y 21h) Mixto 21i y 21j) Sin tipo específico.**



En la región de la Mixteca los incendios de tipo superficial afectaron 4,490.5 ha en 112 incendios (Figura 22a). En este tipo de incendio el año más afectado fue el 2003 con 1202.5 ha quemadas (Figura 22b); y el mayor número de incendios se presentó en el 2000 con 28 incendios (Figura 22c). Los incendios de tipo mixto afectaron 8,032.5 ha en 34 eventos (Figura 22a), el año más afectado fue el 2003 con 5,905.5 ha quemadas (Figura 22d) y el 2003 fue el año más afectado respecto al número de incendios (13 eventos) (Figura 22e). Los incendios sin tipo de incendio determinado sumaron 50 ha quemadas en 1 evento y afecto solo al nivel de los arbustos (Figura 22a).

Los incendios de tipo mixto se presentan en arbustos, pastizales y el renuevo. Algunos estudios indican que son incendios de severidad media (Schoennagel et al., 2004) que se presentan donde hay mosaicos de vegetación con variaciones complicadas, estas son favorecidas por distintos factores, p.e diversificaciones topográficas. Esto hace que los incendios mixtos tengan características complejas que dificultan su manejo, por ello las políticas aplicadas deben considerar las características específicas su localización, propagación y frecuencia. También hubo incendios superficiales con efectos menores en superficie afectada, no obstante, el número de incendios indica que fueron más frecuentes que los incendios mixtos, esta tendencia se conserva de 1999 al 2003. Los estudios de Roman-Cuesta et al (2004) realizados en Chiapas, que al igual que en Oaxaca existe una gran diversidad de climas y variaciones topográficas que favorecen un amplio rango de comunidades vegetales; indican que el patrón de incendios está determinado por el tipo de vegetación y su flamabilidad. En el caso de la Mixteca, donde los bosques templados fueron el ecosistema afectado, los incendios superficiales pueden ser una excelente herramienta que mejora la calidad de los bosques y reduce el riesgo de incendios (especialmente pinos) (Román-Cuesta et al., 2004).

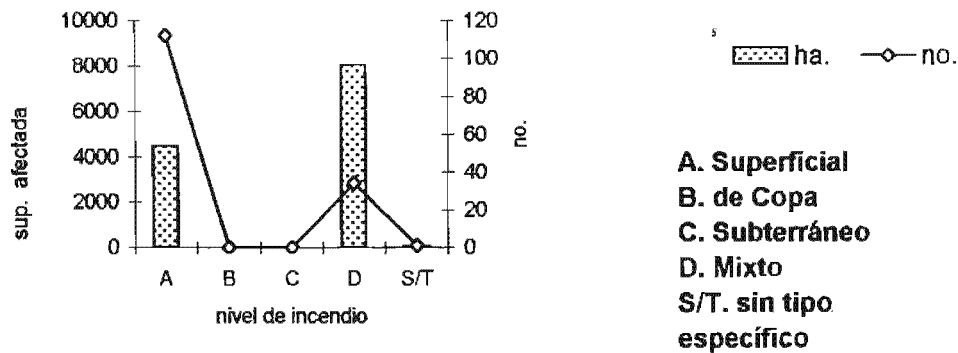
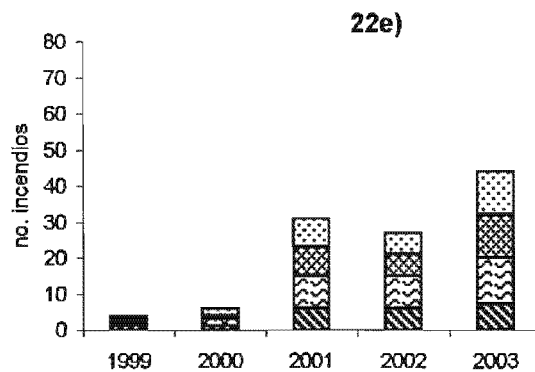
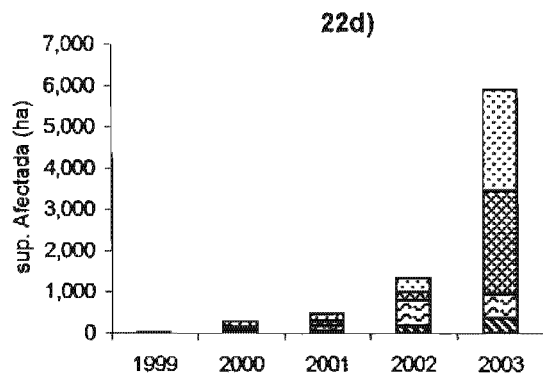
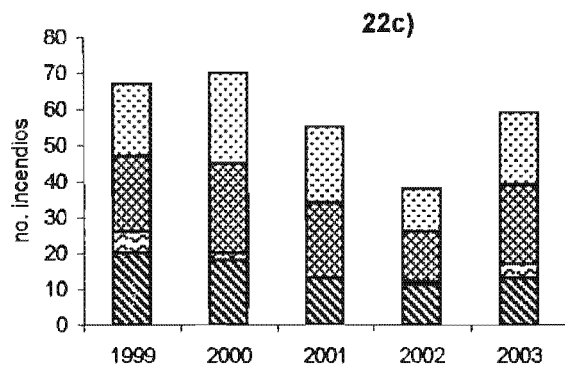
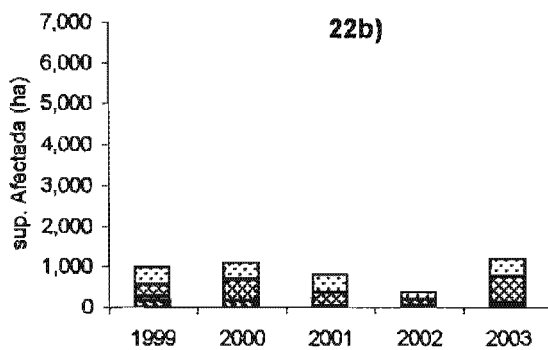


Figura 22a. Superficie afectada y número de incendios por tipo de evento en la Mixteca.

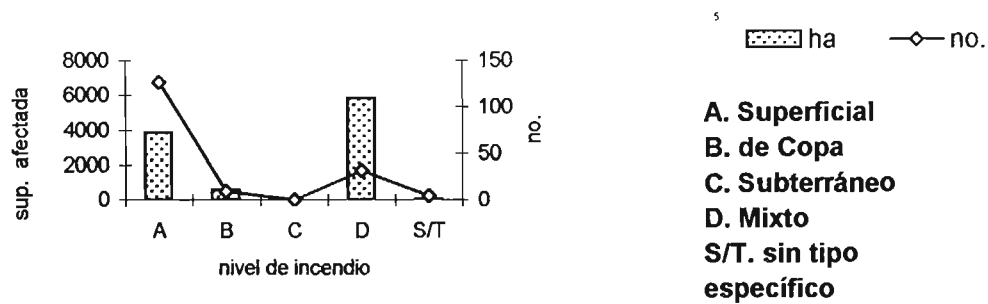


renovación
  arbolado adulto
  arbustos
  pastizales

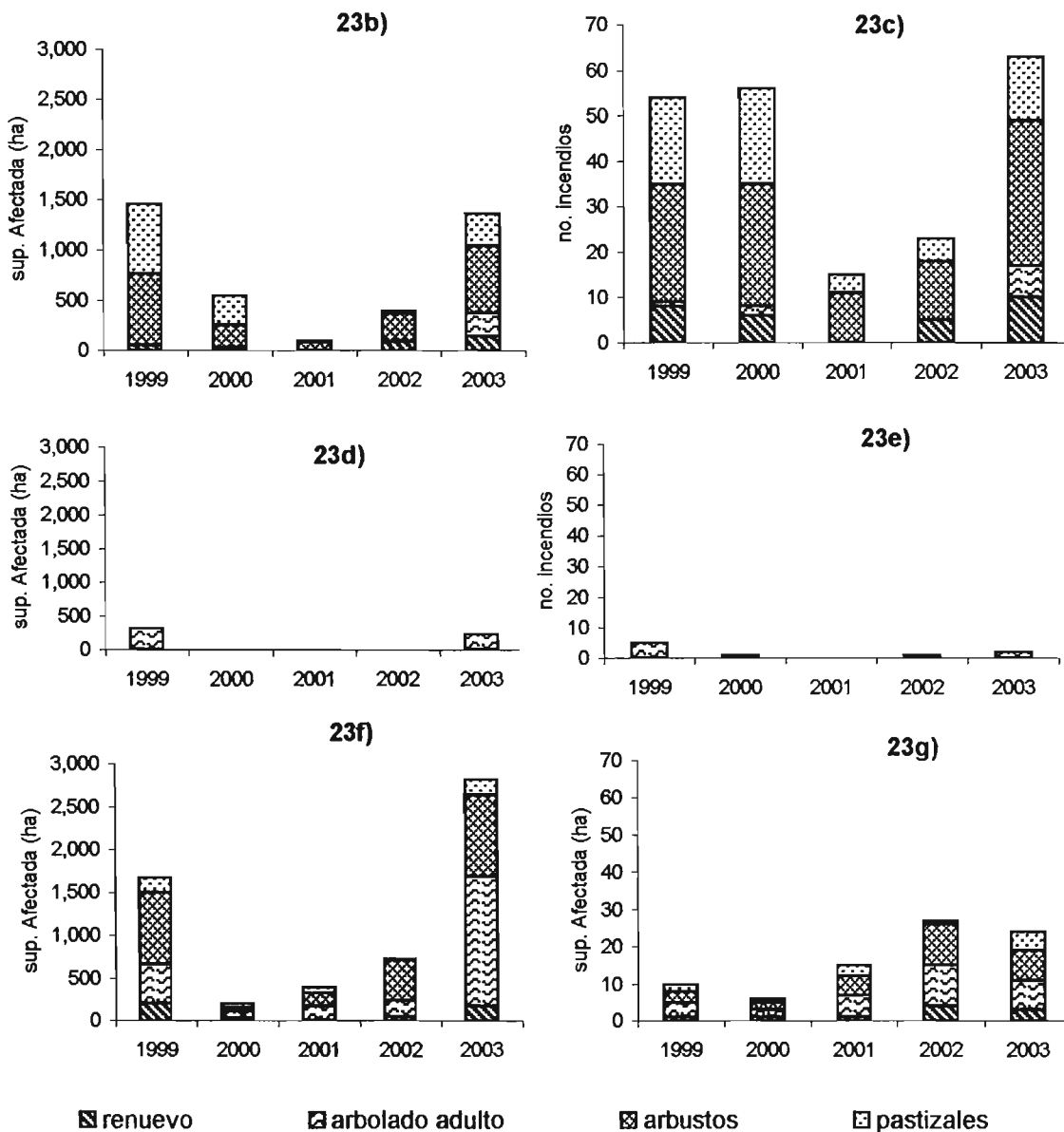
Figura 22. Superficie afectada y número de incendios en la Mixteca por nivel de vegetación, para cada tipo de incendio, de 1998 al 2003. 22b y 22c) Superficial, 22d y 22e) Mixto.

En la Sierra norte los incendios de tipo superficial registraron 3,866 ha quemadas y 127 incendios (Figura 23a). El año más afectado con este tipo de incendio fue 1999 con 1,459.5 ha quemadas (Figura 23b); pero 2003 fue el de mayor frecuencia de incendios con 36 eventos (Figura 23c). Los incendios de copa afectaron 557.5 ha en 9 eventos (Figura 23a), el año más afectado fue 1999 con 315.5 ha quemadas (Figura 23d) y 1999 fue el año con más incendios (5) (Figura 23e). Los incendios de tipo mixto afectaron 5,809 ha en 32 eventos (Figura 23a), el año más afectado fue el 2003 con 2,818 ha quemadas (Figura 23f). El año 2003 registró la mayor cantidad de incendios (9) (Figura 23g); en contraste los incendios sin tipo específico sumaron 30 ha quemadas en 2 eventos (Figura 23a).

Los incendios de tipo mixto fueron los más significativos y afectaron al arbolado adulto y arbustos, esto significa que los incendios en esta región se presentan predominantemente en los bosques templados pero hubo muy pocos incendios de copa. Los estudios de Schoennagel et al (2004) indican que son incendios de severidad media que favorecen el desarrollo de una estructura forestal homogénea a través del paisaje, que a la larga resultarán en grandes áreas de bosque denso continuo, que quizá favorezca grandes parches de fuegos de copa en el futuro. En este sentido, la localización de los incendios mixtos debe ser otros de los factores para establecer las áreas prioritarias para llevar a cabo acciones de prevención y manejo de los incendios. Por otro lado, hubo incendios superficiales en arbustos y pastizales que muestran un descenso en el 2000 y un posterior aumento hasta el año 2003. Los fuegos de este tipo se presentaron con el mismo patrón cuando hubo la cantidad suficiente de combustible para que los incendios fueran tan frecuentes y extensos como en 1999, del mismo modo este comportamiento tuvo lugar en la Cañada y también se registró a nivel estatal (lo cual será explicado más adelante), y ya ha sido documentado por Hudak et al (2004).



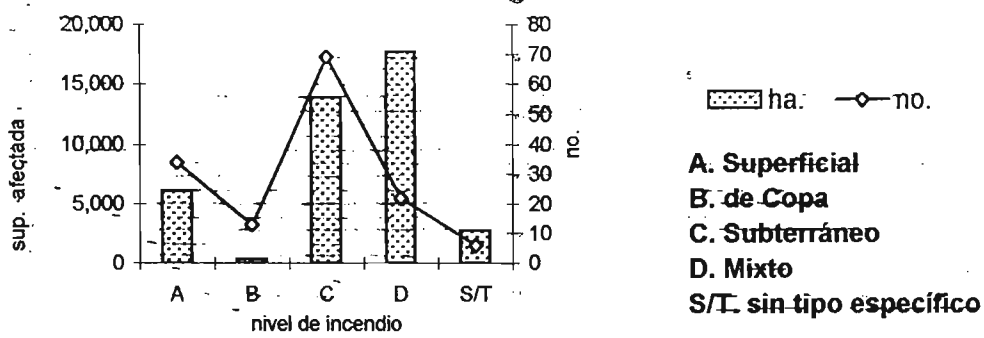
**Figura 23a. Superficie afectada y número de incendios por tipo de evento en la Sierra Norte.**



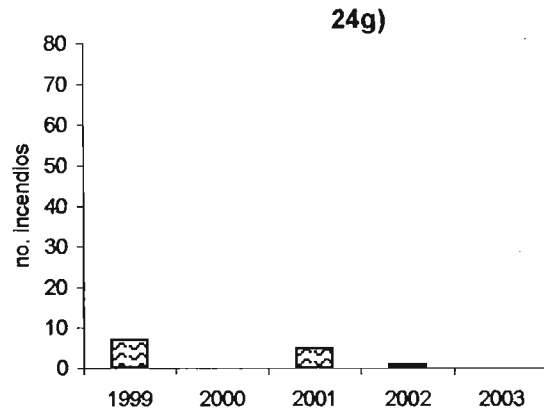
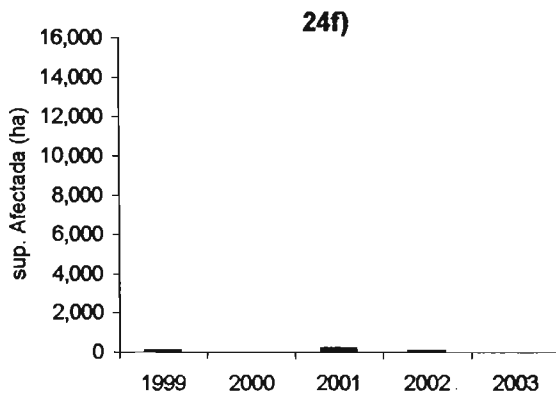
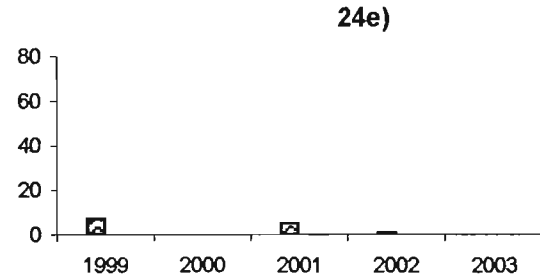
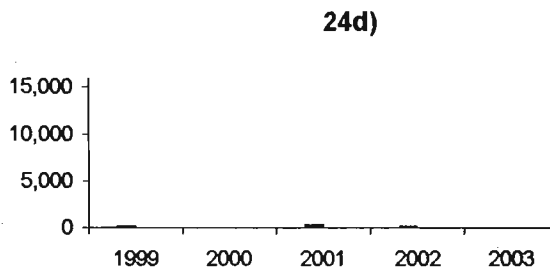
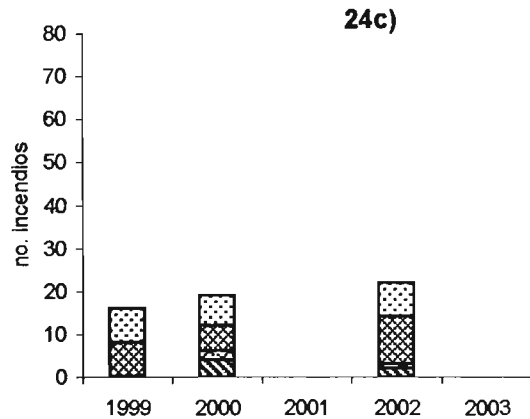
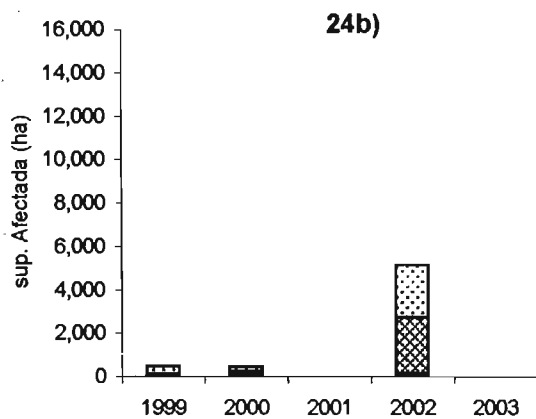
**Figura 23. Superficie afectada y número de incendios en la Sierra Norte por nivel de vegetación, para cada tipo de incendio, de 1998 al 2003. 23b y 23c) Superficial, 23d y 23e) De copa, 23f y 23g) Mixto.**

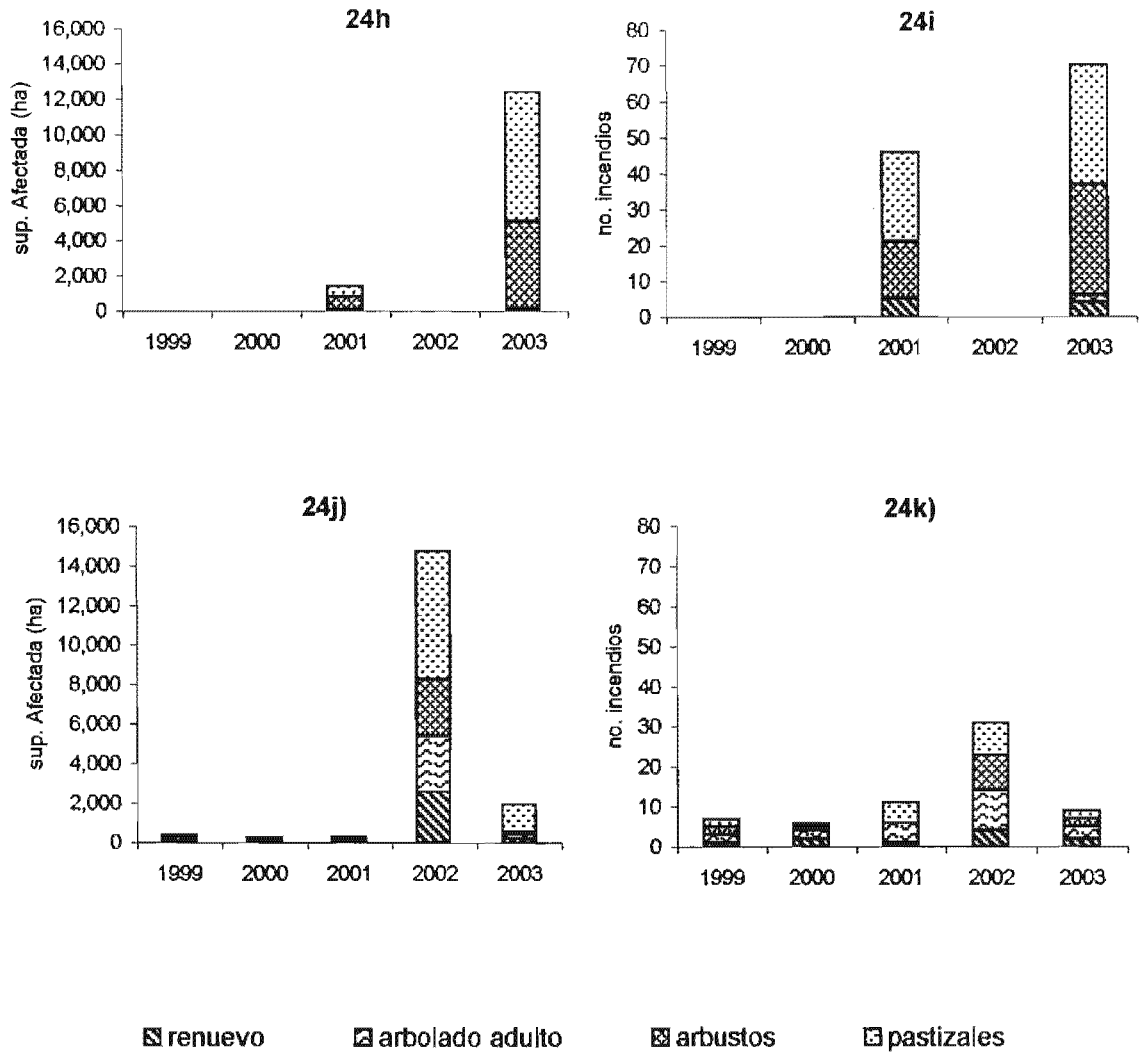
En la región del Istmo los incendios de tipo superficial afectaron 607 ha en 34 incendios (Figura 24a), el año más afectado fue el 2002 con 5,159 ha quemadas (Figura 24b); respecto al número de incendios el año más afectado fue 1999 con 13 eventos (Figura 24c). Los incendios de copa afectaron 306 ha en 13 eventos, el año más afectado fue el 2001 con 186.5 ha quemadas en 5 eventos (Figuras 24d y 24e). Los incendios subterráneos quemaron 13,869 ha en 69 incendios (Figura 24a), el año más afectado resultó ser el 2003 con 12,436 ha quemadas (Figura 24f y g). Los incendios de tipo mixto registraron 17,704 ha quemadas en 22 eventos (Figura 24a), la mayor superficie afectada se presentó en el año 2002 (14,763 ha quemadas) (Figura 24h). El año con más incendios de este tipo fue el 2002 (10) (Figura 24i). Mientras que los incendios no determinados registraron 2,735 ha quemadas en 6 eventos (Figura 24a).

En esta región se presentaron incendios de todo tipo afectando sobre todo arbustos y pastizales, excepto los incendios de copa que impactaron solo al arbolado adulto. Se debe tomar en cuenta que no se tiene información del tipo de incendios que se localizaron en 1998, pero debieron de haber sido incendios de copa muy severos que afectan. Además Villers y López (2003) indican que los incendios en la región del Istmo de ese año son los más graves en la historia reciente del área. En ese año se presentó el fenómeno de *El Niño*, ocasionando una sequía que duró aproximadamente seis meses, el doble de la duración promedio de las áreas húmedas, creando una mayor susceptibilidad de los bosques húmedos a los incendios. Otros factores que hicieron que los incendios se propagaran de manera inusitada fueron que las áreas incendiadas se situaron en lugares remotos y de difícil acceso. Debido a lo anterior los intentos por controlarlos con brigadas, brechas corta fuego y helicópteros, fallaron y más bien fueron las primeras lluvias de la temporada las que extinguieron el fuego (Villers y López 2003).



**Figura 24a. Superficie afectada y número de incendios por tipo de evento en el Istmo.**





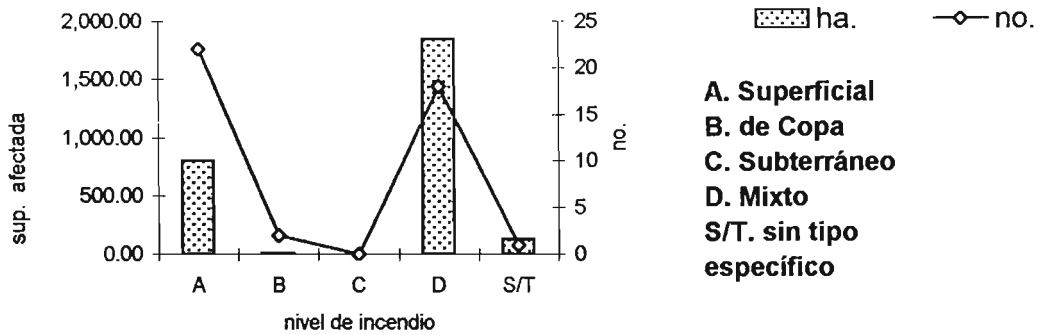
**Figura 24. Superficie afectada y número de incendios en el Istmo por nivel de vegetación, para cada tipo de incendio, de 1998 al 2003. 24b y 24c) Superficial, 24d y 24e) De copa, 24f y 24g) Subterráneo, 24h y 24i) Mixto, 24j y 24k) Sin tipo específico.**

La región de la Cañada los incendios de tipo superficial afectaron 802 ha en 22 eventos (Figura 25a), el año más afectado fue el 2003 (450 ha quemadas) (Figura 25b); y 1999 fue el año con más incendios (10 eventos) (Figura 25c). Los incendios de copa afectaron 7 ha en 2 eventos (Figuras 25d y 25e). Los incendios de tipo mixto sumaron 1,842 ha quemadas en 18 eventos (Figura 25b), el año 2000 tuvo 790 ha quemadas (Figura 25f), pero el año con más incendios fue el 2002 (7 eventos) (Figura 25g), los incendios sin tipo específico registraron 130 ha quemadas en 1 evento en el 2003 (Figura 25a).

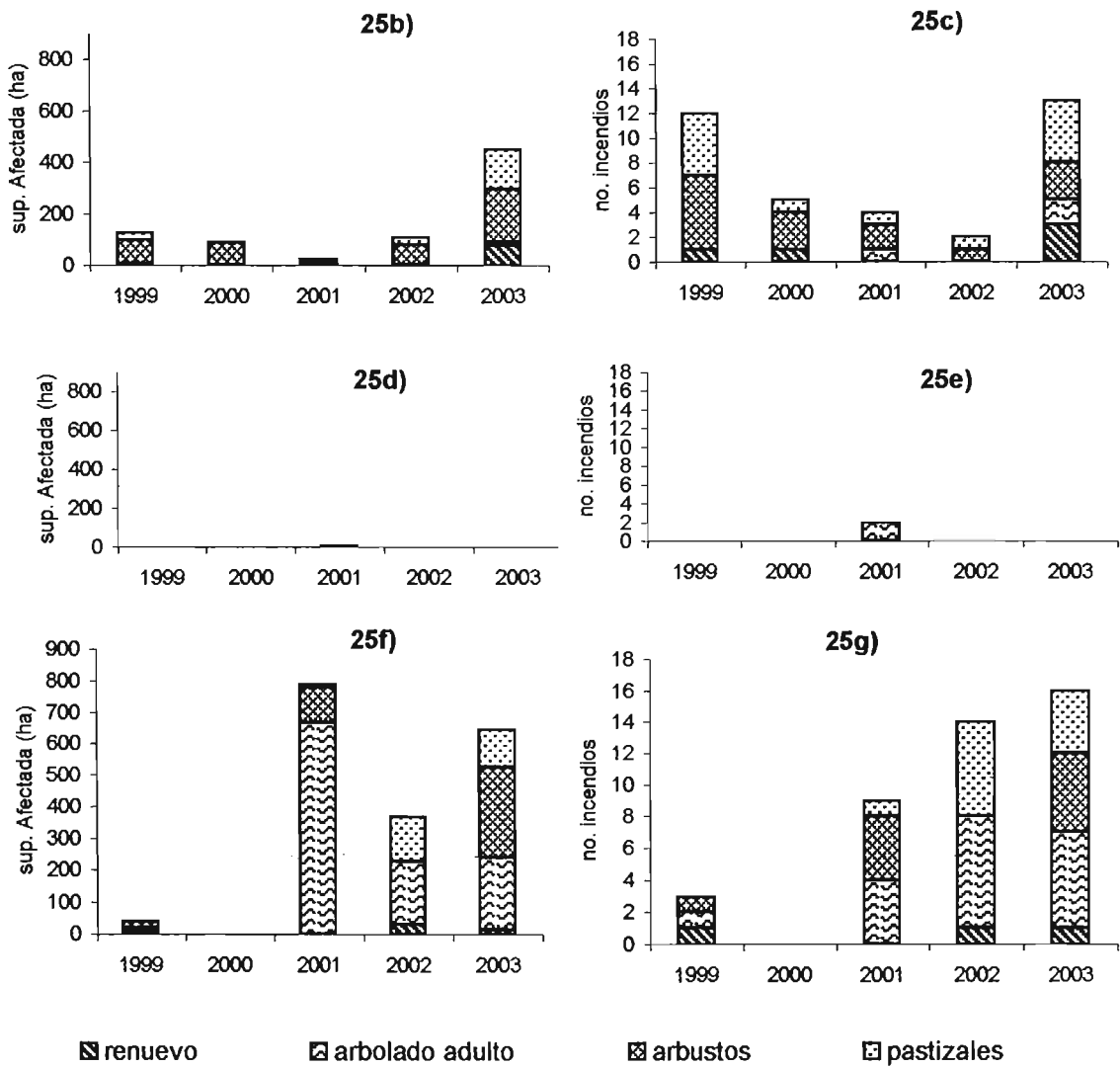
En la Cañada hubo incendios de tipo superficial, los cuales impactaron preferentemente a los arbustos, los resultados anteriores (ver pág. 78) indican que se presentaron en los bosques templados y como ya se ha mencionado las especies de este ecosistema muestran cierta resistencia y elasticidad respecto al fuego. El nivel afectado indica que no son disturbios que puedan alterar la productividad del ecosistema y producir un cambio dramático de composición de las especies principales (He et al, 2002), los cuales serían los efectos esperados en eventos más severos, p.e eventos de copa en el arbolado adulto.

También hubo eventos mixtos que son más frecuentes, extensos y donde el arbolado adulto fue sustancialmente impactado. Al contrario de los incendios superficiales, estos eventos involucran efectos de mayor severidad que podrían eliminar toda la vegetación existente, además implica que el fuego es usado como instrumento para la extracción de madera y otras actividades humanas. En la literatura constantemente se menciona que hay una interacción entre los bosques templados y el fuego (Cochrane, 2002), pero los niveles de severidad aquí mostrados indican que esta relación puede ser anulada dando como resultado la existencia de procesos negativos de cambios de uso de suelo y de cobertura como la deforestación.





**Figura 25a. Superficie afectada y número de incendios por tipo de evento en la Cañada.**



**Figura 25. Superficie afectada y número de incendios en la Cañada por nivel de vegetación, para cada tipo de incendio, de 1998 a 2003. 25b y 25c) Superficial, 25d y 25e) Copa, 25f y 25g) Mixto.**

En la región del Papaloapan los incendios de tipo superficial afectaron a 4,420.25 ha en 39 eventos (Figura 26a), el año más afectado fue 1999 con 1,966 ha quemadas, mientras que el 2002 tuvo 1,804 ha impactadas (Figura 26b y 26c). Los incendios de copa registraron 500 ha quemadas en el año 2002 en 3 incendios (Figuras 26d y 26e). Los incendios de tipo mixto registraron 1,948 ha quemadas en 10 eventos (Figura 26a), el año más afectado fue el 2002 (895 ha), mientras que el 2003 registró 858 ha afectadas (Figuras 26f y 26g). Los incendios sin región determinada registraron 1,303 ha quemadas en 21 eventos, donde los incendios superficiales afectaron a 1,128 ha. Los incendios de copa y los incendios de tipo mixto registraron 60 y 115 ha quemadas respectivamente (Tabla 9).

**Tabla 9. Superficie afectada y número de incendios en los que no se determinó la región donde se ubicaron en el estado de Oaxaca.**

<b>TIPO DE INCENDIO</b>		<b>renuevo</b>	<b>arbolado adulto</b>	<b>arbustos</b>	<b>pastizales</b>	<b>total</b>
<b>Superficial</b>	ha.	34.50	2.00	650.00	441.50	1128.00
	no.	5.00	1.00	16.00	13.00	18.00
<b>de copa</b>	ha.	0.00	60.00	0.00	0.00	60.00
	no.	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00
<b>mixto</b>	ha.	0.00	60.00	0.00	0.00	60.00
	no.	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00
<b>indeterminado</b>	ha.	23.00	33.00	27.00	32.00	115.00
	no.	2.00	2.00	2.00	1.00	2.00
<b>total</b>	ha.	57.50	155.00	677.00	473.50	1363.00
	no.	7.00	5.00	18.00	14.00	22.00

En el Papaloapan los incendios de tipo superficial se presentaron fundamentalmente al nivel de los arbustos, además hubo incendios de tipo mixto en el arbolado adulto y pastizales, estas características son muy similares al caso anterior con la variante de que son incendios que se presentan en los bosques tropicales (ver pág 98). Los estudios de Barbosa

y Fearnside, (2004) indican que los incendios en los trópicos están directamente relacionados a factores climáticos como la precipitación, pero en este caso no tuvieron importancia para determinar la presencia de los incendios a nivel estatal. Las mismas características de los incendios fueron reportadas en Costa Rica, Belice y Nicaragua, donde se concluyó que los incendios forestales no deben asociarse exclusivamente a las sequías causadas por el fenómeno de *El Niño* (Cochrane, 2002). Por lo cual, la presencia de los incendios en la región del Papaloapan debe estar determinada por las actividades antrópicas como la tala de bosques, que a su vez se encuentran ubicados junto a los pastizales para el ganado (Cochrane, 2002), esto lo hace mucho más vulnerables a ser afectados por las quemadas, dando como resultado grandes extensiones de bosque dañado en distintos grados.

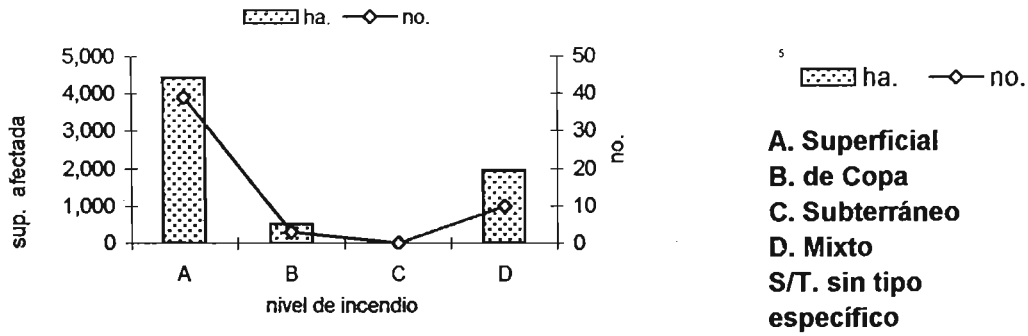


Figura 26a. Superficie afectada y número de incendios por tipo de evento en el Papaloapan.

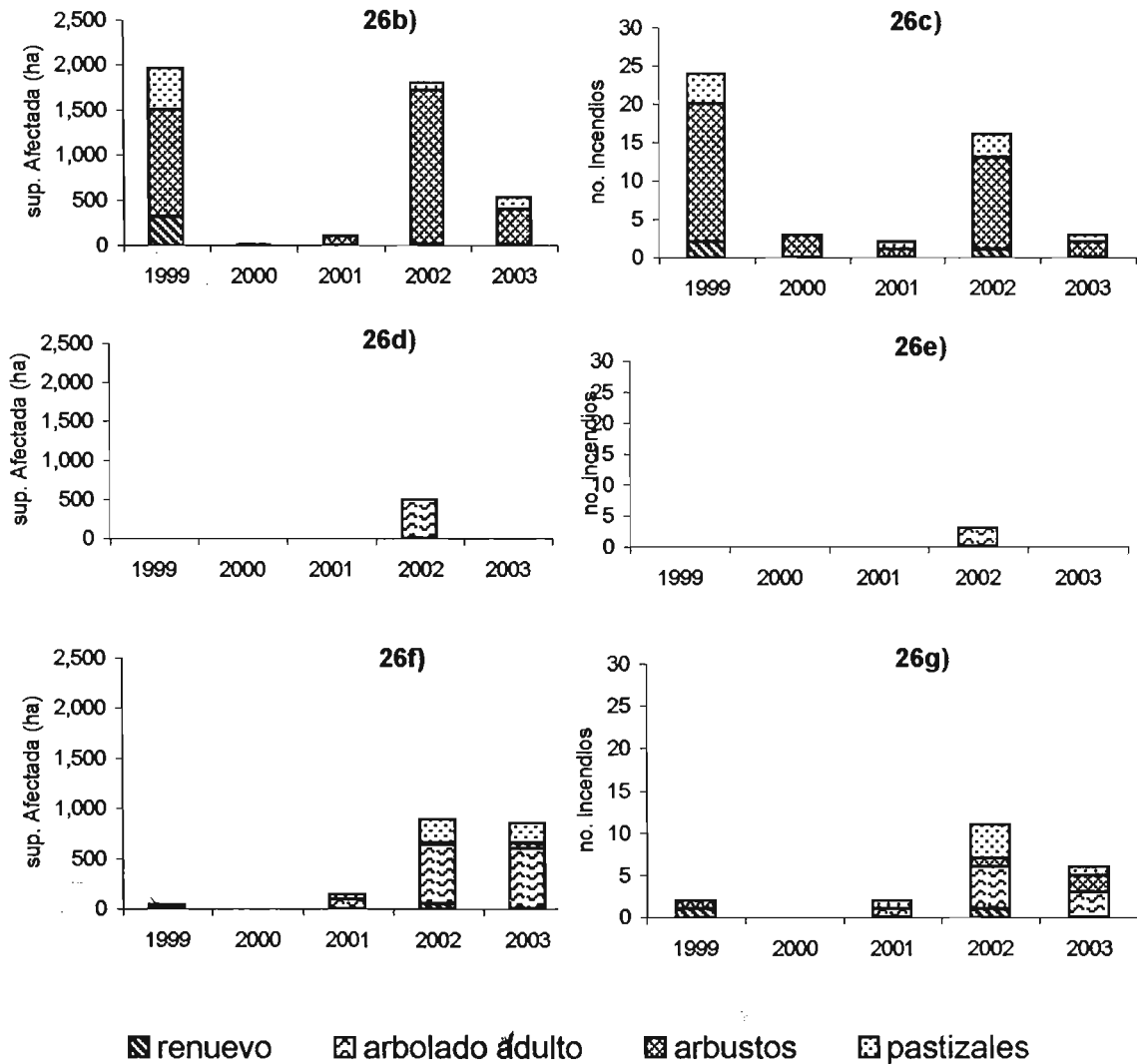


Figura 26. Superficie afectada y número de incendios en la región del Papaloapan por nivel de vegetación, para cada tipo de incendio, de 1998 al 2003. 26b y 26c) Superficial, 26d y 26e) De copa, 26f y 26g) Mixto.

Hubo pocos incendios subterráneos y solo se presentaron en las regiones del Istmo y la Costa, son eventos poco frecuentes, que afectaron significativamente al nivel de los pastizales y arbustos en el estado de Oaxaca. El origen de estos incendios se relaciona a las actividades antrópicas, y se presentan en las regiones más afectadas por incendios y con los procesos más acelerados de deforestación que son Istmo y Costa. Son incendios difíciles de combatir y riesgosos por las características de su propagación. La existencia de incendios subterráneos indica un alto índice de severidad y están ligados a incendios igualmente dañinos como son los incendios de copa, se propagan bajo la superficie del terreno; afectan las raíces y la materia orgánica acumulada en grandes afloramientos de roca. Se caracterizan por no generar llamas y poco humo (Cenapred, 1999), pero el avance en la longitud y la velocidad del incremento del área incendiada del suelo (Shvidenko y Nilsson, 2000) son muy rápidos, esto que debe ser tomado en cuenta para implantar políticas de combate de incendios más útiles en las regiones mencionadas.

Los incendios mixtos fueron los que afectaron una mayor superficie en todas las regiones de Oaxaca debido a la variabilidad regional que determina la aparición de distintos tipos de regímenes de fuego. Estas diferencias se manifiestan debido a la topografía, la posición del paisaje y los tipos de vegetación existentes en cada una de las regiones; mientras que la severidad y frecuencia con las que se presentan los incendios están determinadas por el clima, los combustibles y la topografía (Schoennagel et al., 2004, 2004). Las regiones más impactadas por incendios mixtos son la Sierra Sur, el Istmo y la Mixteca, la proporción de igniciones en cada una de ellas indica que este tipo de incendios habitualmente son muy extensos. Generalmente lo que determinaría la extensión de los incendios sería la cantidad de combustible seco y ligero que sería más abundante en los niveles de pastizales y arbustos. Los resultados sustentan el patrón espacio-temporal donde

los incendios mixtos son los más frecuentes en todas las regiones y años de estudio, y además que afectan predominantemente al estrato arbóreo. Esto indica que son incendios frecuentes de baja severidad que particularmente están asociados al clareo para la agricultura, para la remoción de árboles y la introducción de pastizales, esto coincide con el estudio de Jardel et al (2003) realizado en la Reserva de la Biosfera de la Sierra de Manantlán, Jalisco.

En contraste, en los incendios superficiales las igniciones fueron numerosas lo cual está indicado en el número de incendios, pero la superficie afectada indica que no se extienden tanto como los incendios de tipo mixto. Una de las implicaciones más importantes de los fuegos superficiales es que crean en el paisaje de las regiones donde se presentan parches variables en espacio y tiempo (Schoennagel et al., 2004). Los resultados de este estudio mostraron que el mayor daño de los incendios superficiales se registra principalmente en pastizales y arbustos, son considerados como incendios de baja severidad por que la velocidad de regeneración en los niveles afectados es mayor que si ocurrieran en otro nivel como el renuevo. El nivel arbóreo constituye la capa superficial del combustible que se seca fácilmente y promueve la dispersión de frecuentes incendios superficiales que deterioran la regeneración natural y la reforestación (Cenapred, 1999; Schoennagel et al., 2004).

Los incendios de copa o de corona no son frecuentes, este patrón de los incendios indica que estos tampoco son extensos, sin embargo, este análisis no incluye datos de 1998 donde uno de los niveles más impactados fue el arbolado adulto. Los incendios reportados a nivel del arbolado adulto en 1998 se piensa que son fundamentalmente incendios de copa, pues los datos de incendios en otros años reportan datos casi exclusivamente a este nivel, entonces los incendios en el arbolado adulto deben ser incendios de copa, estos eventos son

sustancialmente severos y tienen su origen en la acumulación artificial del combustible, ya sea por las políticas de disminución de los incendios, el cambio climático o el crecimiento de la población (Schoennagel et al., 2004).

En el caso de Oaxaca los últimos dos aspectos son clave para el origen de las conflagraciones y determinar sus puntos de ignición, mientras que, la abundancia de combustibles, la proximidad de las copas, la falta de heterogeneidad y la continuidad espacial de los combustibles finos superficiales promovieron la alta severidad del fuego y su consecuente expansión (Odion et al., 2004; Schoennagel et al., 2004). Estos factores se agruparon en un paisaje relativamente homogéneo como lo es la región de los Chimalapas, por ello los incendios se distribuyeron sustancialmente al nivel del arbolado adulto en grandes proporciones.

Por otro lado, este análisis de muestra que los niveles afectados y los tipos de incendio son similares debido a la manera en la que Conafor registra la información, p.e existen incendios superficiales fundamentalmente en arbustos y pastizales, incendios de copa solo en el arbolado adulto e incendios mixtos que afectan a todos los niveles. Esta concomitancia demuestra además la fidelidad con la que se recabaron los datos.

## **2.2 Distribución temporal**

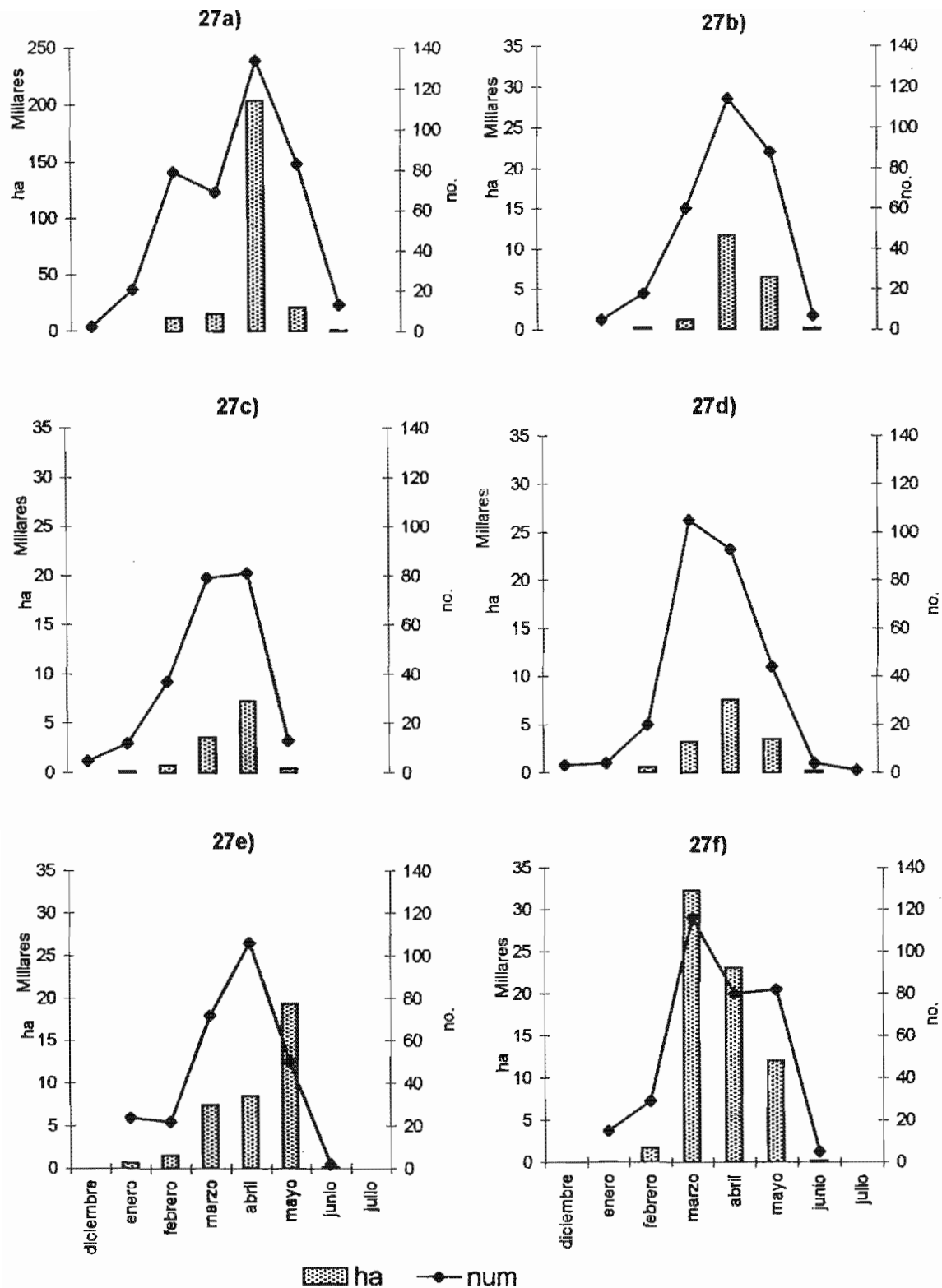
### ***2.2.1 Distribución temporal de los incendios por año***

La distribución mensual de los incendios en Oaxaca coincide con las características del régimen de incendios reportado por Hudak et al (2004) en el sur de África, este autor afirma que la ocurrencia de los fuegos se limita al tiempo necesario para acumular suficiente combustible para impulsar un nuevo incendio. La temporalidad de los incendios está limitada a la fenología de la vegetación, ya que su grado de consumo está determinado por las condiciones de humedad del combustible y del suelo (Bourgeau et al., 2000; Hudak et al., 2004). Esto hace que el fuego en cierto grado este biológicamente controlado (Vázquez y Moreno, 2001). Es por eso que los incendios en Oaxaca se limitan a presentarse en los primeros meses del año, cuando el contenido de humedad de la vegetación regula el comportamiento de la biomasa operando a través del tiempo (Odion et al., 2004).

De diciembre de 1997 a junio de 1998 se registraron 252,184 ha afectadas en 419 incendios, asimismo el mayor número de incendios tuvo lugar en abril (134) con 203,788 ha afectadas (Figura 27a). Los incendios de este periodo son resultado de una escasa política de control de incendios acoplada con una severa pero no sin precedente aridez. De enero a junio de 1999 hubo 292 incendios y 11,645 ha incendiadas; la mayor parte tuvo lugar en el mes de abril (114 incendios) (Figura 27b). De diciembre de 1999 a mayo del 2000 se afectaron 12,203 ha; nuevamente el mayor número de ha afectadas por incendios fue abril (7,241.5 ha), asimismo este mes registró el mayor número de incendios (81 incendios) de un total de 227 para este periodo (Figura 27c). De diciembre del 2000 a julio del 2001 el total de ha afectadas fue de 37,670.5 ha, la mayoría tuvo lugar en el mes de mayo (19,364 ha afectadas). El total de incendios para este año fue de 274, y el mes de marzo fue el que mayor número de incendios registró (105) (Figura 27d). En el año 2002,



de enero a junio se registraron 69,365.5 ha quemadas, la mayoría tuvo lugar en abril con 23,038.5 ha afectadas. El total de incendios para este año fue de 276, abril fue el que registró la mayor cantidad de incendios (106 eventos) (Figura 27e). El año 2003 registró incendios de enero a junio, el total de ha incendiadas ascendió a 69,365.5, de las cuales, la mayoría ocurrió en el mes de marzo con 32,284.5 ha. El número total de incendios fue de 327, la mayoría tuvo lugar en el mes de marzo con 116 (Figura 27f).



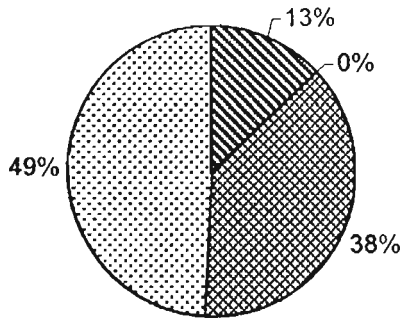
**Figura. 27. Superficie afectada y número de incendios mensual en el estado de Oaxaca de 1998 al 2003. 27a) 1998, 27b) 1999, 27c) 2000, 27d) 2001, 27e) 2002 y 27f) 2003.**

### ***2.2.2 Distribución temporal de los incendios por mes***

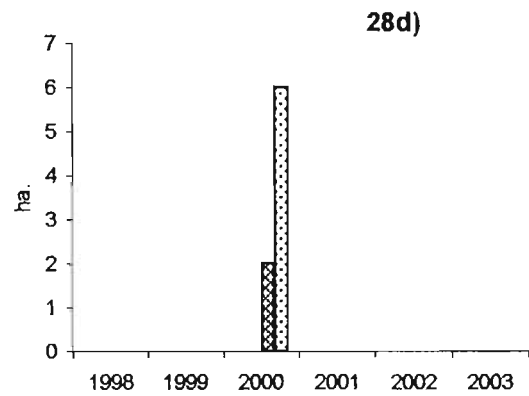
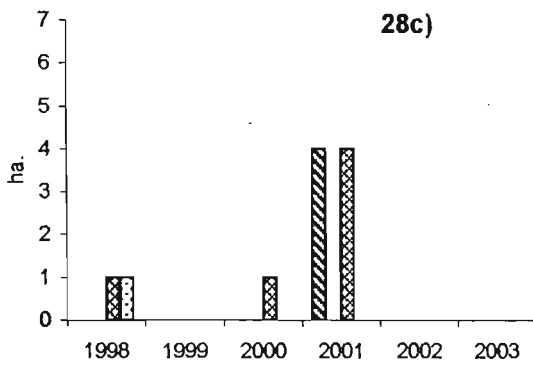
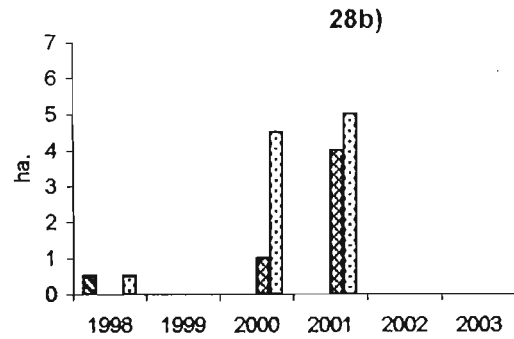
Diciembre registró en total 34.50 ha afectadas en 10 incendios para todos los años de estudio (Figura 28a), la mayor parte se registró al nivel de los pastizales con 17 ha afectadas en 7 incendios. En este mes, el renuevo, el arbusto y los pastizales fueron impactados, por el contrario el arbolado adulto no resultó afectado. En 1999, el 2002 y el 2003 no hubo eventos en este mes, el año más perturbado fue el 2001 con 17 ha quemadas en 3 incendios. Solo tres regiones fueron impactadas en diciembre, los Valles Centrales, la Sierra Sur, y la Mixteca. La región de los Valles Centrales fue la más afectada, registró en total 6 has afectadas en el periodo de estudio, la mayor parte se registró en el 2001 (9 ha incendiadas) y los niveles más afectados fueron los pastizales y arbustos (5 y 4 ha quemadas respectivamente) (Figura 28b). En la región de la Sierra Sur se detectaron 11 ha quemadas, la mayoría se registraron en el año 2001 con 8 ha dañadas, pero el nivel más afectado fue el del renuevo y el arbolado adulto (4 ha quemadas en ambos casos) (Figura 28c). Para la región de la Mixteca se registraron 8 ha impactadas, y en el año 2000 el nivel más afectado fue el de los pastizales (6 ha impactadas) (Figura 28d).

No es común que haya incendios en diciembre, sin embargo estos se presentaron en 1998 y en los años con menos incendios (2000 y 2001). Son muy pocas las regiones que reportan incendios en diciembre estas fueron: los Valles Centrales, Sierra Sur y la Mixteca, en cada una no hubo más de 7 ha quemadas, el nivel afectado (pastizales y arbustos reportan el 87% de las ha quemadas) indica que no son incendios severos. Estos resultados indican que aunque la temporada de incendios sea más larga son muy pocos los incendios los que se presentan en último mes de año, por lo tanto sus secuelas no tiene el mismo efecto que las consecuencias de los incendios en meses posteriores.

La literatura reporta que la variación de los índices de riesgo de incendios de cada día y mes así como el área afectada por incendios, están determinados por las variaciones meteorológicas (Piñol et al., 1998), en este caso las condiciones particulares de sequía en el mes de diciembre en cada uno de los años determinaron la presencia de pocos incendios en ese mes. Los estudios de Piñol et al (1998) reportan resultados similares en Yellowstone donde los índices de sequía determinaron los índices de peligro del fuego. No obstante el mismo autor menciona que no hay que descartar otros factores que inciden en la ocurrencia del fuego como la actividad humana, la cual es más importante que los factores meteorológicos.



**Figura 28a. Superficie afectada por nivel de vegetación para diciembre del periodo de 1998 al 2003.**



renuevo   
  arbolado adulto   
  arbustos   
  pastizales

**Figura 28. Superficie afectada en diciembre por región en cada año de estudio. Figura 28b) Valles Centrales, 28c) Sierra Sur, 28d) Mixteca.**

El mes de enero registró en total 1,299.25 ha afectadas en 81 incendios para todos los años de estudio. La superficie afectada fue considerable en el nivel arbóreo (arbustos 599.8 ha y pastizales 455 ha) (Figura 29a). Además en todos los años se registraron incendios, aunque el más impactado fue el 2002 con 691.5 ha quemadas en 23 eventos. Las regiones afectadas fueron Valles Centrales, Sierra Sur, Costa, Mixteca y Sierra Norte, la más impactada fue la Costa con 378 ha incendiadas en 14 incendios. En los Valles centrales se registraron 239 ha quemadas, la mayor parte fueron impactadas en el 2002, (109.5 ha), de estas, el nivel más afectado fue el de los arbustos (76.5 ha), (Figura 29b). La Sierra Sur tuvo en total 366 ha quemadas, la mayor parte tuvo lugar en el 2002, los niveles mas impactados fueron, el arbolado adulto (60 ha), y los pastizales (40 ha) (Figura 29c). La Costa tuvo 378.5 ha quemadas, la mayor parte se quemó en el 2002 (262 ha), los niveles afectados fueron los arbustos (155 ha) y los pastizales (107) (Figura 29d). La Mixteca resultó afectada con 80.5 ha, la mayor parte quemó en 1998 (50 ha), y afectaron principalmente a pastizales (28 ha) y arbustos (19 ha) (Figura 29e). En la Sierra Norte se registraron muy pocos incendios, los cuales impactaron 15.5 ha, la mayor parte se registró en el año 2003 con 13.5 ha quemadas, afectaron al nivel de los arbustos con 10 ha quemadas. Mientras que los incendios que no se clasificaron en ninguna región sumaron 69 has quemadas, la mayoría se localizaron al nivel de los pastizales (34 ha) (Figura 29f). Cenapred (2005) indica que enero es un mes frío, lo que provoca mucha vegetación quemada por heladas no por fuego. Sin embargo, los resultados de este estudio demuestran que la temporada de incendios forestales empieza en enero, al menos para el caso de Oaxaca que registra incendios en este mes en 5 de las 8 regiones que conforman al estado, además se observa que los incendios tienen dimensiones considerables y son de poca severidad ya que el 81% se registra en el nivel arbóreo.

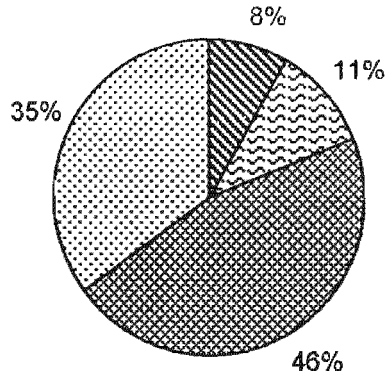
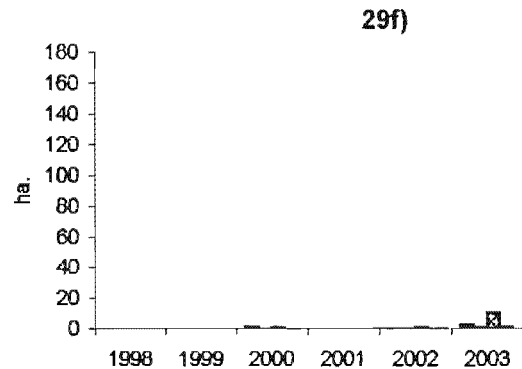
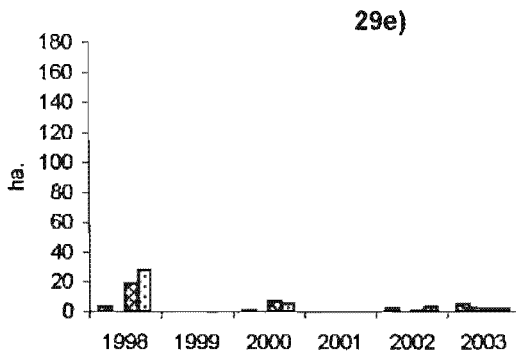
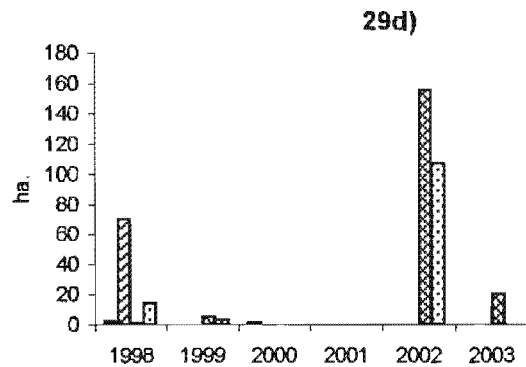
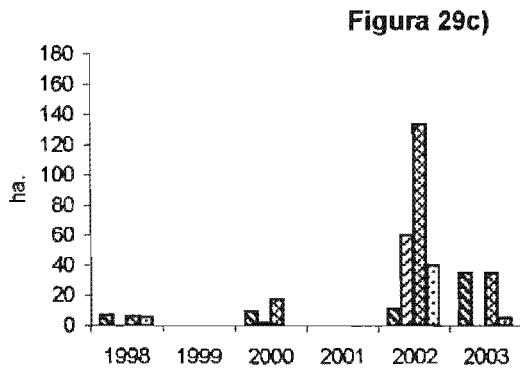
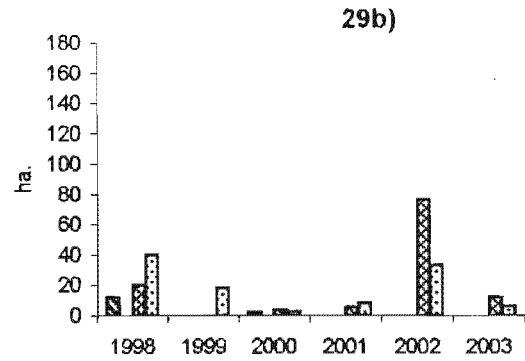


Figura 29a. Superficie afectada por nivel de vegetación para Enero del periodo de 1998 al 2003.



renuevo   
  arbolado adulto   
  arbustos   
  pastizales

Figura 29. Superficie afectada en enero por región en cada año de estudio. Figura 29b) Valles Centrales, 29c) Sierra Sur, 29d) Costa, 29e) Mixteca, 29f) Sierra Norte.

Para el mes de febrero el total de ha impactadas fue de 16,398.3 en 205 incendios (Figura 30a) para todos los años de estudio, el nivel más afectado fue el de los pastizales con 7,651.8 ha quemadas en 146 eventos. Todos los años registraron incendios en este mes, aunque el más perturbado fue 1998 (11,700.5 ha afectadas en 79 incendios). La Cañada fue la única región que no fue impactada, por el contrario la más afectada fue el Istmo con 10,799 ha quemadas en 16 eventos. En los Valles Centrales hubo 1,671.25 ha quemadas, la mayor parte tuvo lugar en 1998 (677), todos los niveles registraron incendios y la superficie quemada no varió significativamente entre ellos, el arbolado adulto tuvo 189.5 ha, los arbustos 184, los pastizales 178.3, y 126 el renuevo (Figura 30b). La Sierra Sur registró en total 1,974 ha quemadas, el año más afectado fue 1998 (1,137 ha), la mayor parte afectó el nivel de los arbustos con 418 ha quemadas (Figura 30c). La Costa registró 881 ha quemadas, el año que resultó más afectado fue el 2001 (251 ha), el nivel afectado para este año fue el de los pastizales (163 ha quemadas), sin embargo, el 2002 registró 246 ha impactadas, la mayor parte se registró al nivel de los arbustos (214 ha), el año de 1998 registró 206.5 ha quemadas y el nivel más afectado fue el de los pastizales con 105.5 ha incendiadas (Figura 30d). La Mixteca registró 706 ha quemadas, el año que más ha dañadas registró fue el de 1998 con 536 ha incendiadas, el nivel más afectado resultó fue el de los pastizales con 269.5 ha quemadas (Figura 30e). La Sierra Norte registró 291.25 ha quemadas, la mayor parte ocurrió en el 1998 (193.3 ha impactadas), los niveles afectados fueron arbustos con 85 ha afectadas, y pastizales con 77 ha incendiadas (Figura 30f). El Istmo registró en total 10,799 ha quemadas, la mayor parte se dañaron en 1998, (8,950 ha) y se localizaron en su mayoría al nivel de los pastizales (4,435 ha) (Figura 30g). La región del Papaloapan registró en total 7.25 ha afectadas la mayoría se quemaron en el 2003 sumando 5 ha, los niveles donde se localizó la mayor parte de estos incendios fue en el



arbolado adulto y los arbustos con 2 ha quemadas cada uno mientras que el pastizal solo registró una ha afectada (Figura 30h).

Respecto al mes de enero, en febrero hay un incremento de calor y vientos fuertes (Cenapred, 2001). Estas condiciones favorecen la existencia de incendios forestales pero hay que considerar las circunstancias particulares de los paisajes de cada región, ya que esta variación provoca que haya diferencias sustanciales en la dinámica espacial y temporal de los incendios. En este mes los incendios se presentan preferentemente en la región de la Sierra Sur, sobresale el hecho de que los incendios de 1998 empiezan tener gran extensión desde febrero, en la Sierra Sur, la Mixteca, los Valles Centrales, pero sobre todo en el Istmo ya que tan solo en los pastizales se superan las 4,000 ha impactadas mientras que, el arbolado adulto ya reporta casi 2500 ha quemadas.

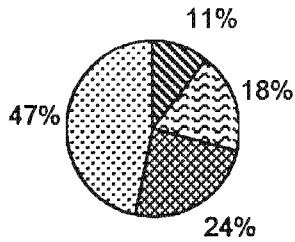
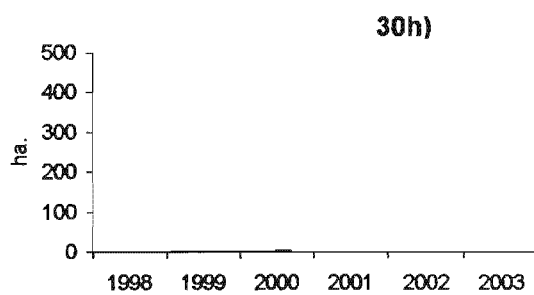
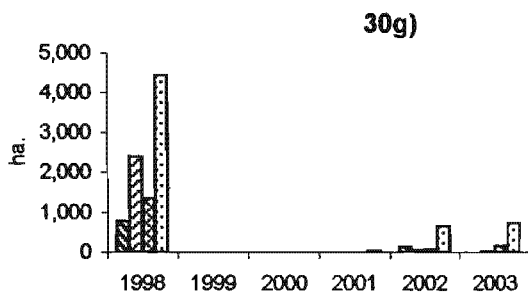
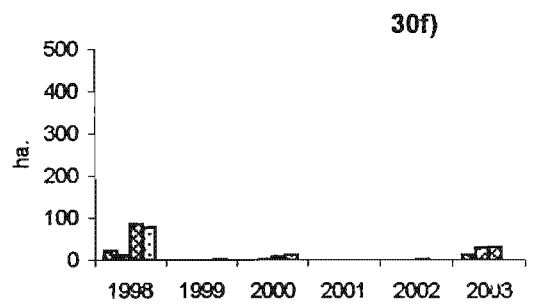
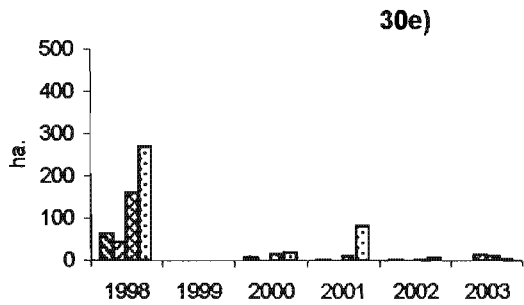
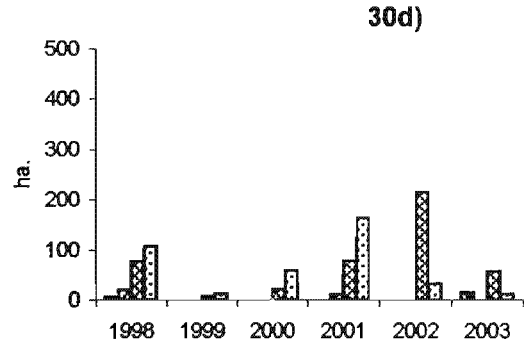
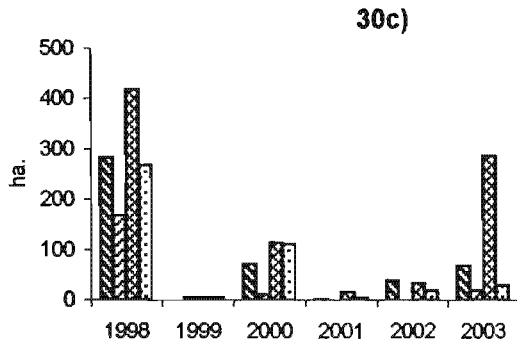
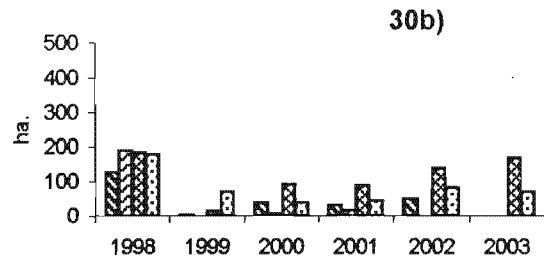


Figura 30a. Superficie afectada por nivel de vegetación para Febrero del periodo de 1998 al 2003.

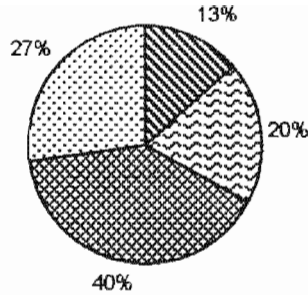


renovación   
 arbolado adulto   
 arbustos   
 pastizales

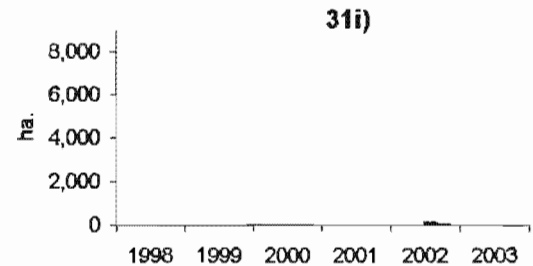
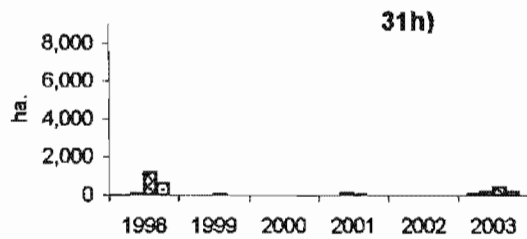
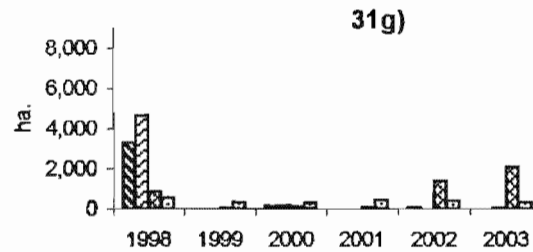
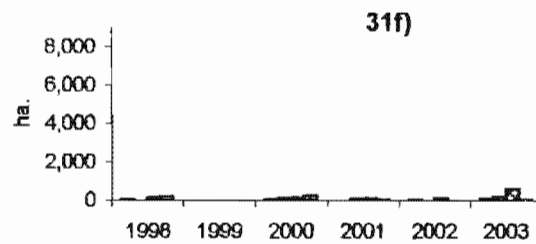
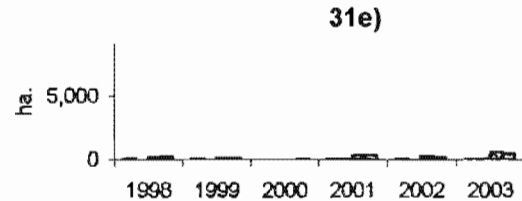
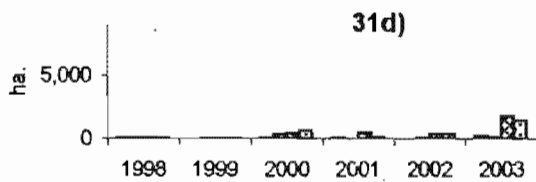
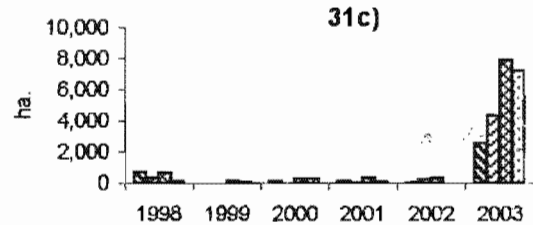
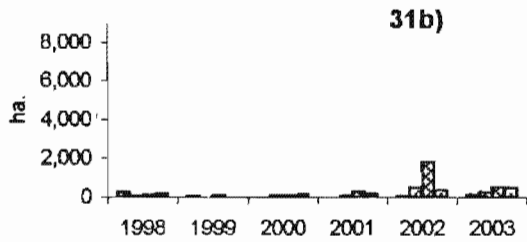
Figura 30. Superficie afectada en febrero por región en cada año de estudio. Figura 30b) Valles Centrales, 30c) Sierra Sur, 30d) Costa, 30e) Mixteca, 30f) Sierra Norte, 30g) Istmo, 30h) Papaloapan.

El mes de marzo registró en total 62,637 ha quemadas en 501 eventos para todos los niveles de estudio (Figura 31a), el nivel que resultó más afectado fue el de los arbustos sumando 24,894.5 ha quemadas en 387 incendios. Todas las regiones en todos los años registraron incendios en este mes aunque la región más afectada fue la Sierra Sur con 25,845.50 ha impactadas en 92 incendios, y el año más perturbado fue el 2003 con 32,284.5 ha afectadas en 617 eventos. En los Valles Centrales se registraron 5,665 ha quemadas, la mayor parte se dañaron en el 2002 (2,788 ha), el nivel más afectado fue el de los arbustos (1,817 ha quemadas) (Figura 31b). La Sierra Sur registró en total 25,845.5 ha quemadas, en el 2003 se dañaron 21,921 ha, el nivel más afectado fue el de los arbustos (7,884 ha), mientras que el nivel de los pastizales registró 7,189 ha quemadas (Figura 31c). La Costa registró 6,676 ha quemadas, la mayoría (3,492) se incendió en el 2003, la mayor parte correspondieron a los arbustos (1,770 ha) (Figura 31d). Para la Mixteca se registraron 2,957.5 ha quemadas, el mayor parte se registraron en el año 2003 (1,097.5 ha), la mayor parte se localizó al nivel de los arbustos (548 ha), y pastizales (477 ha) (Figura 31e). La Sierra Norte registro 2,206.5 ha quemadas y el año más afectado fue el 2003 (957.5 ha), los arbustos registraron 597.5 ha afectadas (Figura 31f). Para el Istmo se registraron 15,156.5 ha quemadas, la mayor parte se incendiaron en 1998, la mayor parte se quemó al nivel de el arbolado adulto (4,660 ha), mientras que, el renuevo reportó 3,290 ha incendiadas (Figura 31g). La Cañada reportó 3,010 ha quemadas, la mayor parte se quemaron en 1998 (1900 ha), los arbustos fueron el nivel más afectado con 1,205 ha incendiadas (Figura 31h). En el Papaloapan solo se registraron incendios en el 2002 que sumaron 129 ha, los niveles más afectados fueron los arbustos y pastizales con 87 y 42 ha quemadas respectivamente (Figura 31i).

En marzo existe un ambiente seco, vientos fuertes y zonas con mucho material combustible sobre el piso del bosque debido incendios anteriores (Cenapred, 2001). La temporada de incendios toma fuerza en este mes y se registran incendios de superficie extensa. En este mes la región del Papaloapan parecer ser la menos impactada, por el contrario, el Istmo registra más de 4,500 ha quemadas. Sobresale el hecho de que sea el año 2003 el que más hectáreas quemadas registra en Marzo, pues solo los arbustos registran casi 9,000 ha impactadas.



**Figura 31a. Superficie afectada por nivel de vegetación para Marzo del periodo de 1998 al 2003.**



renuevo   
 
 arbolado adulto   
 
 arbustos   
 
 pastizales

**Figura 31. Superficie afectada en marzo por región en cada año de estudio. Figura 31b) Valles Centrales, 31c) Sierra Sur, 31d) Costa, 31e) Mixteca, 31f) Sierra Norte, 31g) Istmo, 31h) Cañada, 31i) Papaloapan.**

Para el mes de abril el número de has incendiadas fue de 261,708 y el número de incendios fue de 608 para todos los años de estudio, y el nivel más afectado fue el de los arbustos (94,314.3 ha quemadas en 205 eventos) (Figura 32a). El año más impactado para este mes fue 1998 con 2,303,788 ha afectadas en 134 eventos. Todas las regiones registraron incendios en este mes, aunque la más afectada fue el Istmo con 201,165.5 ha quemadas en 86 eventos. En los Valles Centrales se incendiaron 5,465.5 ha, pero 1998 fue el año con más hectáreas dañadas (1,337 ha), donde el renuevo registró 410 ha incendiadas. En abril del 2002, se reportaron 1,186 ha quemadas, donde los pastizales y los arbustos fueron los mas impactados (587 y 571 ha respectivamente) (Figura 32b). La Sierra Sur reportó en total 26,836.5 ha quemadas, la mayor parte se registró en los años 2003, 1998 y 1999 con 7,345, 5,865 y 6,531 ha quemadas respectivamente. El nivel más afectado fue el de los pastizales (2,700 ha). El año de 1998 registró 2,666 ha quemadas, mientras que, para 1999 el nivel más afectado fue el de los arbustos (3,352.5 ha) (Figura 32c). La Costa reportó 5,622 ha quemadas, la mayor parte de estas se dio en el año 2001 (1,972 ha), el nivel más afectado fue el de los arbustos (1,233 ha) (Figura 32d). La Mixteca reportó 9,004 ha incendiadas, el año más afectado fue el 2003 (5,502 ha quemadas), la mayor parte pertenecen al nivel de los arbustos (2,332.5 ha quemadas), y los pastizales reportaron 2,299 ha quemadas (Figura 32e). La Sierra Norte tuvo 4,113.5 ha afectadas, la mayor parte se incendiaron en el año 2003 (1,531.5 ha), la mayor parte se reportó en el arbolado adulto, mientras que 1998 reportó 1,365 ha quemadas, los niveles más afectados fueron los arbustos y pastizales (550.5 y 437.5 ha respectivamente) (Figura 32f). Para el Istmo se incendiaron 201,165.5 ha, la mayor parte ocurrió en 1998 con 192,534 ha quemadas, el nivel más afectado fue el arbolado adulto con 82,571 ha afectadas, mientras que, los arbustos registraron 43,705 ha quemadas y los pastizales 43,614 ha afectadas (Figura 32g).

Para la Cañada se registraron 1,719 ha quemadas, la mayor parte se incendiaron en 1998 (1,430 ha quemadas), el renuevo, los pastizales, arbustos, y el arbolado adulto reportaron 448, 368, 341, y 295 ha quemadas respectivamente (Figura 32h). El Papaloapan reportó 5,121 ha quemadas, la mayor parte se quemó en el 2002 (2,975 ha incendiadas), y el nivel más afectado fue el de los arbustos (1,575 ha), mientras que, el arbolado adulto registró 1,080 ha incendiadas (Figura 32I). Se reportó también un incendio que abarcó parte de los Valles Centrales y de la Sierra Norte, (1,365 ha quemadas), donde los arbustos registraron 1,060 ha quemadas.

En abril se registran temperaturas elevadas, con incrementos en el promedio diario de incendios y recrudecimiento de la sequía (Cenapred, 2001). La superficie afectada por los incendios fue sustancialmente mayor en Abril que en otros meses, aunque los arbustos y los pastizales fueron muy afectados, esta vez el arbolado adulto registró el 36% de la superficie impactada la cual se registró predominantemente en el Istmo. Este mes registra incendios de dimensiones importantes en todas las regiones pero no siempre este mes fue crítico para todas las regiones, p.e la Costa. Esto se debe a que aunque es uno de los meses más secos, aún no se registran temperaturas suficientemente altas que caractericen a este mes como el de mayor riesgo de incendios.

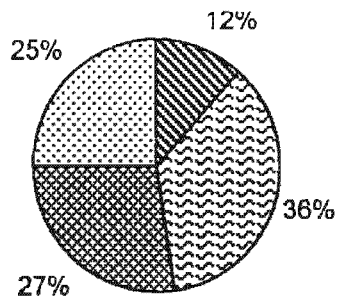
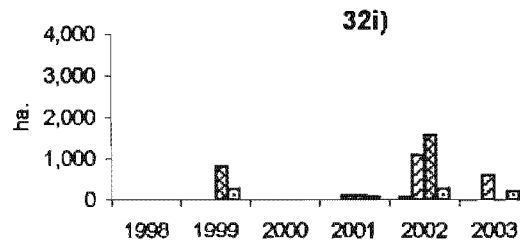
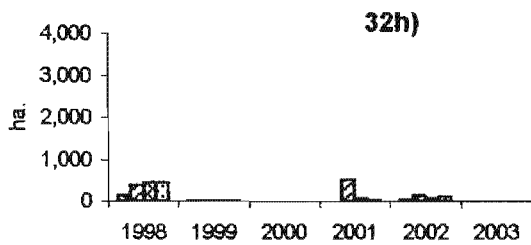
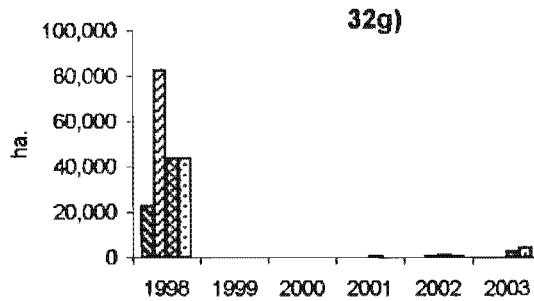
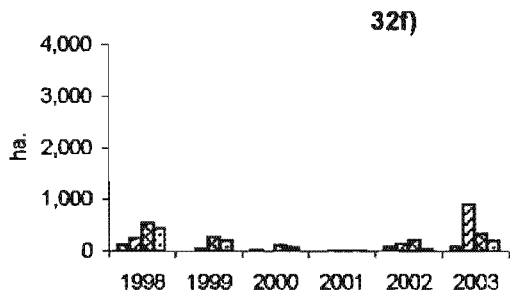
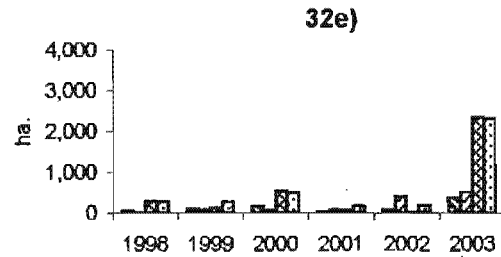
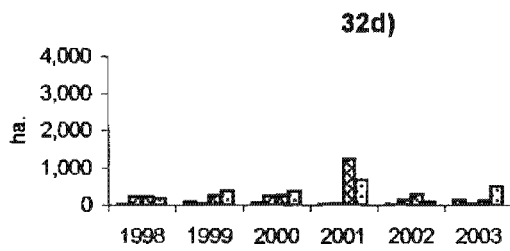
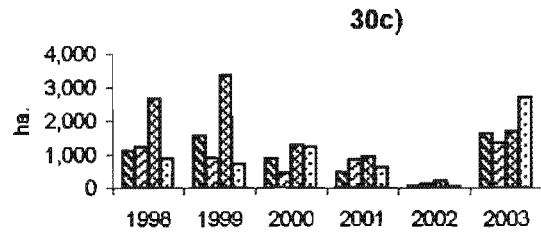
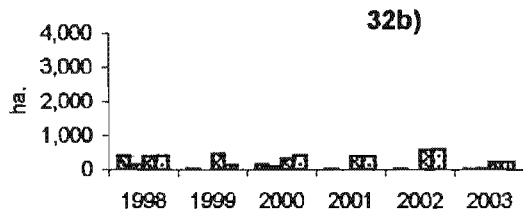


Figura 32a. Superficie afectada por nivel de vegetación para abril, del periodo de 1998 al 2003.



renuevo   
  arbolado adulto   
  arbustos   
  pastizales

Figura 32. Superficie afectada en abril por región en cada año de estudio. Figura 32b) Valles Centrales, 32c) Sierra Sur, 32d) Costa, 32e) Mixteca, 32f) Sierra Norte, 32g) Istmo, 32h) Cañada, 32i) Papaloapan.



Para el mes de mayo se reportaron 62,580.5 ha quemadas en 360 incendios, el nivel más afectado fue el de los pastizales con 211,998 ha quemadas en 233 incendios, mientras que, los arbustos registraron 21,117 ha afectadas en 283 eventos (Figura 33a). El año más afectado en este mes fue 1998 con 20,836 ha quemadas en 83 eventos. Todas las regiones registraron incendios, no obstante la más impactada fue el Istmo con 24,389.5 ha quemadas en 50 eventos. Los Valles Centrales reportaron 2,918.5 ha quemadas, el año más afectado fue 1998 con 1,452 ha quemadas, el nivel más afectado fue el renuevo con 448 ha incendiadas, mientras que, el nivel de los pastizales, arbustos y arbolado adulto reportaron 368, 3,412 y 295 ha incendiadas respectivamente (Figura 33b). La Sierra Sur reportó 8,731 ha incendiadas, el año más afectado fue 1998 con 4,037 ha, mientras que, el nivel más afectado fue el de los arbustos con 1,668 ha incendiadas (Figura 33c). La Costa reportó 2,856 ha incendiadas, el año más afectado fue el 2003 con 754 ha, el nivel de los pastizales reportó 295 ha incendiadas, y el renuevo 286 (Figura 33d) (Figura 33e). La Mixteca reportó 5,927 ha incendiadas, la mayor parte se quemaron en el año de 1998 (4,525 ha quemadas), el nivel más fue el de los pastizales (1,946 ha incendiadas), mientras que, los arbustos reportaron 1,689 ha quemadas (Figura 33f). La Sierra Norte reportó 14,247 ha incendiadas, en el año de 1998 tuvo 8,812 ha quemadas siendo el más afectado, el nivel que más ha quemadas reportó fue el de los arbustos (4,000 ha quemadas), mientras que, el renuevo reportó 3436 ha incendiadas (Figura 33g). El Istmo reportó 24,387.5 ha quemadas, el nivel más afectado fue el 2002 pues 15,785 ha se reportaron como incendiadas, el nivel más afectado fue el de los pastizales (7,613 ha quemadas) (Figura 33H). La Cañada reportó 1,719 ha incendiadas, la mayor parte de estas se incendió en 1998 (1,105); el nivel más afectado fue el de los pastizales (465 ha quemadas), y el de los arbustos reportó (440 ha incendiadas) (Figura 33i). La región del Papaloapan registró 1,774 ha incendiadas, la mayor

parte se quemó en 1999 (931 ha incendiadas), y el nivel más afectado fue el de los arbustos (401 ha afectadas).

En muchos casos el mes de mayo coincide con las temperaturas más altas del año (Cenapred, 2001). Sin embargo, no es el mes más afectado, lo cual podría indicar que los incendios no se presentan con tanta frecuencia y que no están muy relacionados con las condiciones de aridez presentes en ese periodo. Entonces si lo que está determinando su presencia (incendios considerables al nivel de arbustos, pastizales y renuevo) son factores diferentes a los climáticos, el origen de las igniciones no es natural y se debe a presiones antrópicas. En ese mismo sentido los incendios presentes en la región del Istmo en 1998 son una excepción al resto de los años de estudio, pues son incendios de superficie muy amplia (a diferencia de la mayoría de los incendios de otros años) lo cual indica que para mediados de mayo de ese año, las condiciones de sequía y uso indiscriminado del fuego ya se habían combinado para quemar más de 200,000 hectáreas de prados y bosques (Cochrane, 2002)

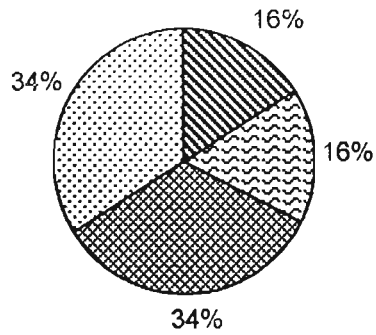


Figura 33a. Superficie afectada por nivel de vegetación mayo, del periodo de 1998 al 2003.

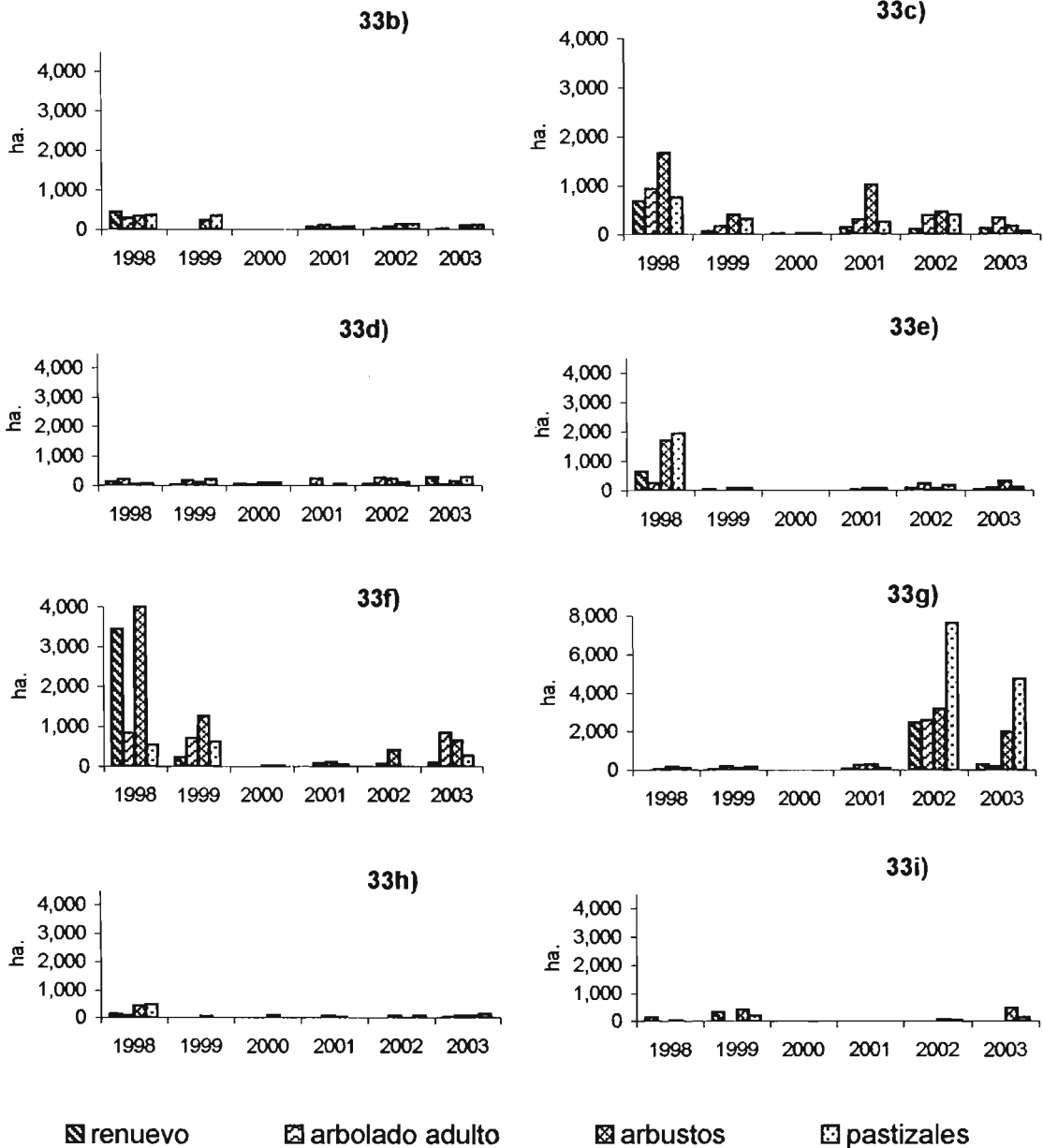
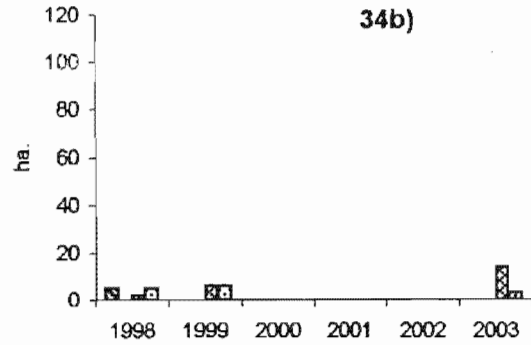
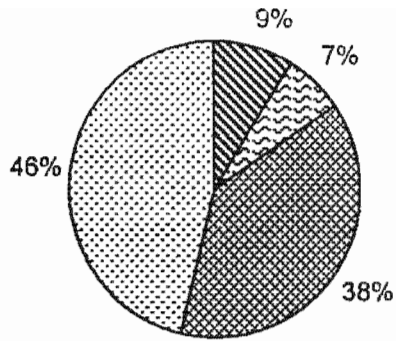


Figura 33. Superficie afectada en mayo por región en cada año de estudio. Figura 33b) Valles Centrales, 33c) Sierra Sur, 33d) Costa, 33e) Mixteca, 33f) Sierra Norte, 33g) Istmo, 33h) Cañada, 33i) Papaloapan.

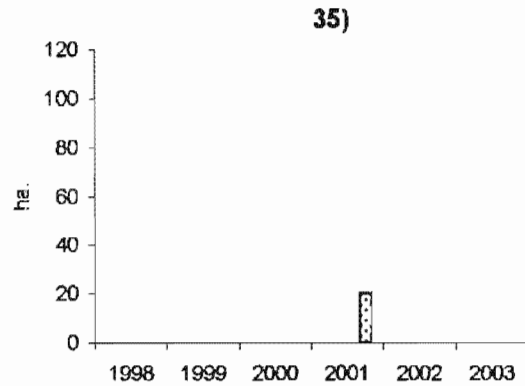
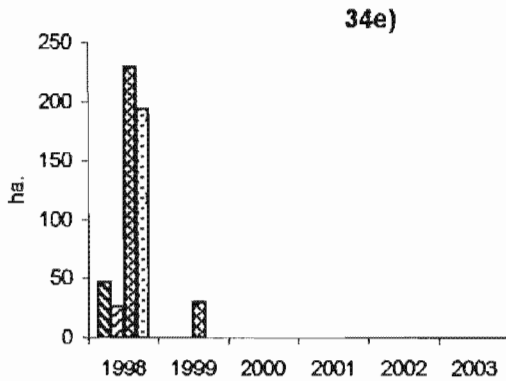
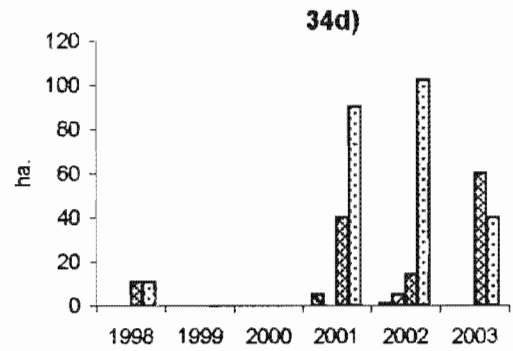
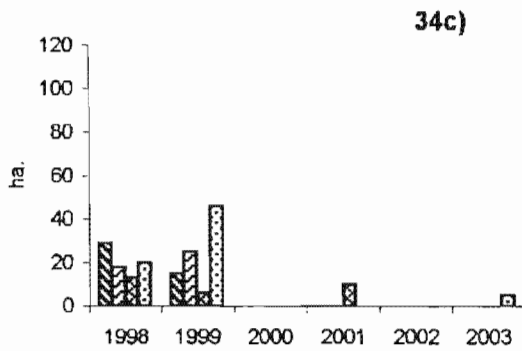
El mes de junio registró en total 1,133 ha incendiadas en 31 eventos para los seis años de estudio, el nivel más afectado fue el de los pastizales con 522 ha incendiadas en 20 eventos, mientras que, los arbustos registraron 435 ha quemadas en 24 incendios (Figura 34a). El año más afectado fue 1998 con 610 ha afectadas en 13 eventos. Y la región más afectada en este mes fue la Cañada con 526 ha quemadas en 9 incendios. Las regiones afectadas en este mes fueron Sierra Sur, Sierra Norte, Istmo y Cañada. La Sierra Sur reportó 41 ha quemadas, la mayor parte tuvo lugar en el 2003 con 17 ha incendiadas; y la mayor parte se registró al nivel de los arbustos (14 ha afectadas) (Figura 34b). Para la Sierra Norte se registraron 187 ha quemadas, y el año más afectado fue 1999 (92 ha), el nivel más afectado fue el de los pastizales con 46 ha quemadas. En contraste en 1998 registró 80 ha impactadas, el nivel más afectado fue el renuevo con 29 ha incendiadas (Figura 34c). La región del Istmo tuvo mayor impacto por incendios a partir del 2001 y hasta el 2003. En los dos primeros años el nivel más afectado fue el de los pastizales con 90 y 102 ha quemadas respectivamente, mientras que en el último año el nivel más afectado fueron los arbustos con 60 ha impactadas (Figura 34d). Para la región de la Cañada el año más impactado fue 1998 que registró 229 ha quemadas al nivel de los arbustos y 194 ha quemadas al nivel de los pastizales (Figura 34e).

El mes de julio reportó 20 ha incendiadas las cuales se registraron en su totalidad en el año 2001 al nivel de los pastizales en la región del Istmo (Figura 35).

En los últimos dos meses de la temporada de incendios la superficie afectada disminuye sustancialmente, la Cañada resulta ser la región más afectada y solo en 1998 los niveles más afectados vuelven a ser esencialmente arbustos y pastizales y solo se presentan incendios en 4 de las 8 regiones del estado. El mes de Julio marca el fin de la temporada pues solo un año presenta eventos en ese periodo.



**Figura 34a. Superficie afectada por nivel de vegetación para Junio del periodo de 1998 al 2003.**



renuevo     
 
 arbolado adulto     
 
 arbustos     
 
 pastizales

**Figura 34. Superficie afectada en junio por región en cada año de estudio. Figura 34a) Sierra Sur, 34c) Sierra Norte, 34d) Istmo, 34e) Cañada. Figura 35. Istmo (Julio).**

En México, se tienen dos temporadas de incendios forestales, la primera corresponde a la zona centro, norte, noreste, sur y sureste del país, la cuál se inicia en enero finalizando en junio y la segunda incluye solo el noroeste del país, inicia en mayo y termina en septiembre, ambas coinciden con la época de mayor estiaje en la república mexicana (Conafor, 2005). Los resultados de este estudio arrojaron que el patrón temporal en Oaxaca limita a la parición de los incendios de diciembre a julio, no obstante en ciertos años no existen incendios en diciembre, enero, junio y julio. Por otro lado la parición de los incendios es segura en el periodo de sequía (marzo a junio), esto se debe a que los incendios están determinados por los ciclos de crecimiento de la vegetación, que a la vez están condicionados a la disponibilidad de recursos. Por ello, cuando los niveles de humedad se ven alterados por la ausencia de lluvias la estructura vegetal proporciona materiales ligeros que pueden ser quemados fácilmente, creando un ambiente propicio para la aparición y dispersión de incendios.

Por otro lado, autores como Flannigan (2000), Weisberg y Swanson (2003); y Hudak et al (2004) indican que la temporalidad de los incendios puede afectar la intensidad del fuego (incendios superficiales o de copa), ya que la cantidad de humedad contenida en la vegetación cambia cada mes e influencia directamente la cantidad de biomasa afectada por el fuego (Barbosa y Fearnside, 2004) en los diferentes estratos, en este aspecto destaca la necesidad de delimitar minuciosamente la temporada de incendios. Los resultados demostraron que la quema de arbustos y pastizales es común, pero a veces el arbolado adulto y el renuevo elevan las cantidades de superficie afectada y número de incendios, esto ocurrió en 1998 cuando la sequía provocó un déficit de humedad considerable en estos niveles, la evidencia es la superficie incendiada a este nivel.

En el caso de Oaxaca el patrón temporal revela la presencia de un período crítico que registra los valores más altos de número de incendios y superficie afectada en el año este abarca el periodo de marzo a mayo. Los factores que favorecen este clímax son las características particulares de alta flamabilidad del material de ignición, el bajo contenido de humedad y la alta temperatura circundante (Sharma y Rikhari, 1997), y particularmente en Oaxaca la práctica de actividades agropecuarias. Las condiciones favorables para la dispersión del fuego en los meses de mayor incidencia (marzo, abril y mayo) son las altas temperaturas resultado de la exposición de los sitios a la radiación solar, con lo cual se favorece la sequía de la madera y las hojas que se acumularon desde el último periodo de incendios. El fuego se propaga quemando la capa superficial de materia orgánica (humus y hojarasca), partes superficiales del suelo, así como brotes y semillas (Sharma y Rikhari, 1997). Otro estudios demuestran que la incidencia natural de incendios se puede relacionar con variaciones del clima, y particularmente con la precipitación pluvial (Villers y López, 2004). Sin embargo, la ocurrencia de los incendios en Oaxaca obedece a factores no climáticos, por ejemplo lo que hizo que el mes de abril fuera el mes que sobresaliera por efectos negativos en ese año fue que las quemas se originaron cuando se hizo uso indiscriminado del fuego de prácticas tales como la roza, tumba y quema (Cochrane, 2002).

Estas prácticas se llevan a cabo en los meses de secas con el fin de que coincida con la época de siembra de los cultivos, la vegetación de una determinada parcela se tala o corta y se deja desecar (periodo de sequía), una vez seco el material los agricultores prenden fuego al mediodía o en la tarde. El objetivo es reducir al mínimo el cúmulo de desperdicios mientras se liberan los nutrientes que contienen la tierra, para que puedan servir como fertilizantes de los cultivos que se plantarán en breve (antes de la temporada de lluvias) (Cochrane, 2002).

### **2.3 Distribución temporal de los puntos de calor**

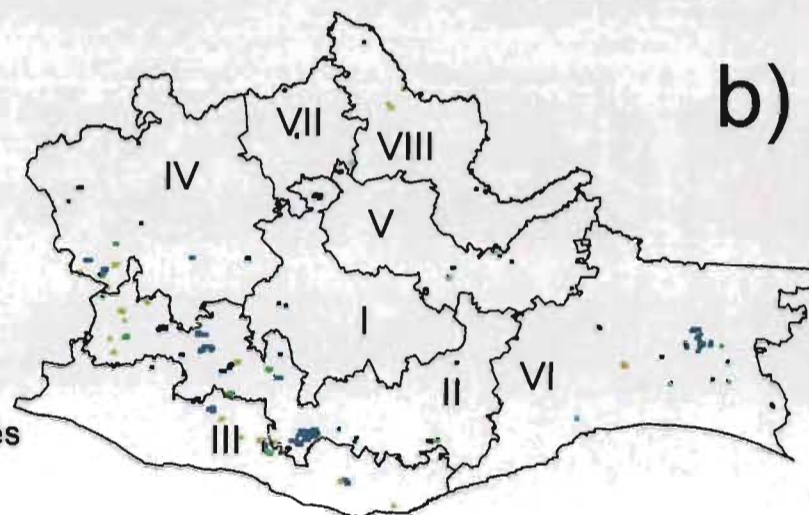
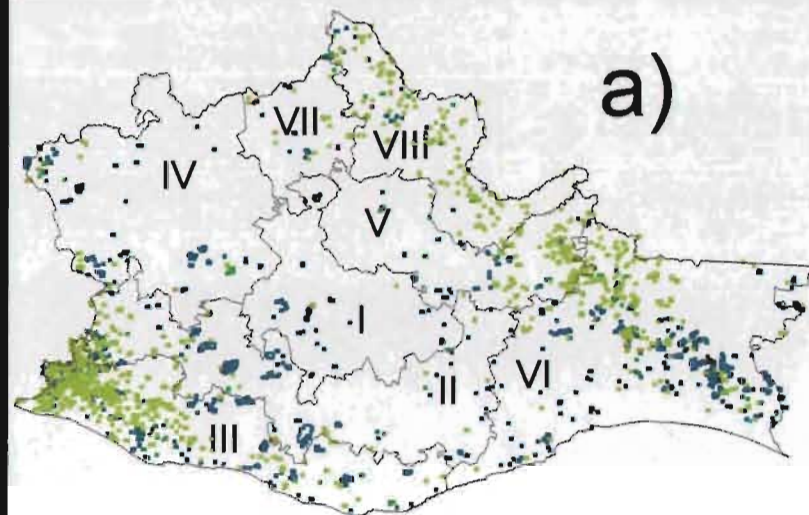
En este estudio se consideró la concentración de puntos de calor en el estado de Oaxaca, a pesar de que este método no conduce datos en función del área incendiada, o la permanencia de los puntos de calor (Barbosa y Fearnside, 2004), sin embargo, aporta datos importantes de la localización espacio-temporal de los posibles incendios. No es posible obtener datos de superficie incendiada porque como ya se mencionó (ver metodología), la saturación de un píxel de la imagen de satélite ocurre cuando sólo el 0.1% del área registra temperaturas más de 500°C. Por tal motivo se detectan sólo puntos de calor de un tamaño entre 120m<sup>2</sup> y 1 200 000 m<sup>2</sup>, sin embargo, aún no es posible definir la superficie afectada (Conabio 2005). Por tal motivo la información es complementaria a la base de datos de Conafor, y sirve para demostrar la distribución espacial y temporal gráficamente, así como para definir con mayor exactitud las áreas prioritarias respecto la presencia de incendios forestales en cada región.

En el año 2000 los puntos de calor se distribuyeron de forma diferencial en el territorio de Oaxaca, la mayor cantidad de puntos de calor se presentan en abril y se localizan en la región de la Costa especialmente al oeste, mientras que, los incendios del mes de mayo se localizan principalmente en la parte noroeste de la región del Istmo, al sureste de la Sierra Norte y de sur a norte de la región del Papaloapan (Figura a). Para la versión nocturna los puntos más numerosos se presentaron en abril y se distribuyen sobretodo en la Sierra Sur y en la parte central del la región del Istmo. Los incendios del resto del la temporada tienen la misma tendencia respecto a su distribución espacial (Figura b).

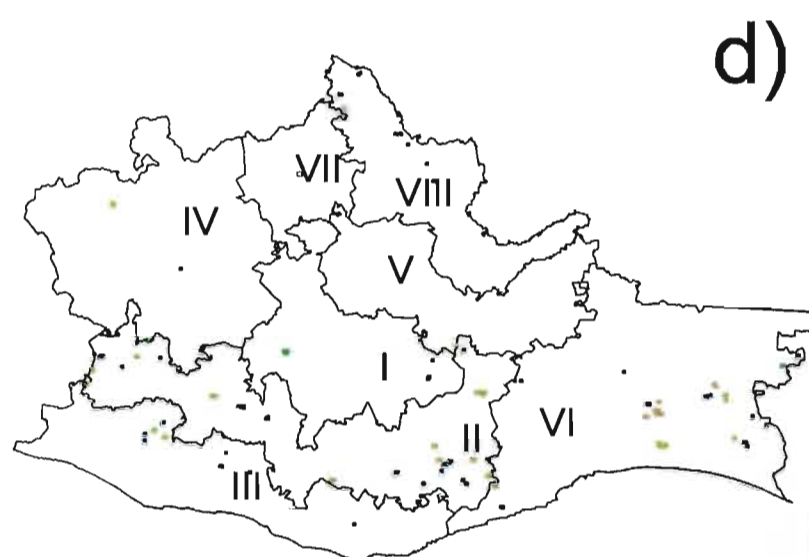
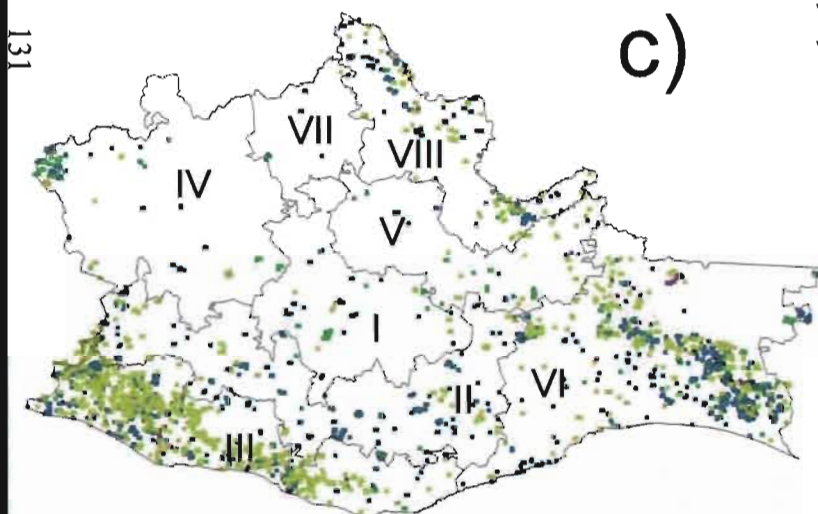
Para el año 2001, los puntos del mes de abril se concentraron a lo largo del territorio de las regiones de la Costa, la Sierra Sur, y en la región del Istmo ocupan una franja del



sureste al centro de la región, el otro mes con mayor número de puntos fue mayo, los cuales se localizan predominantemente en la parte oeste de la Costa, en una franja de la región del Istmo que va de sureste a noroeste y en menor cantidad se concentraron en la región del Papaloapan (Figura c). En la versión nocturna los puntos son menos cuantiosos y el mes que más puntos reportó fue abril y parecen distribuirse en mayor medida en la región de la Sierra Sur. Los puntos del resto de los meses tienen un comportamiento similar concentrándose en la región antes mencionada (Figura d).



- I. Valles Centrales
- II. Sierra Sur
- III. Costa
- IV. Mixteca
- V. Sierra Norte
- VI. Istmo
- VII. Cañada
- VIII. Papaloapan



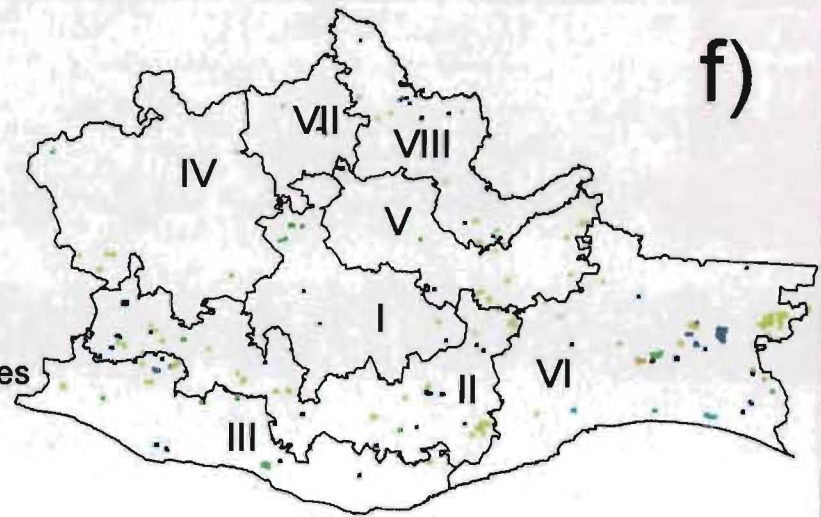
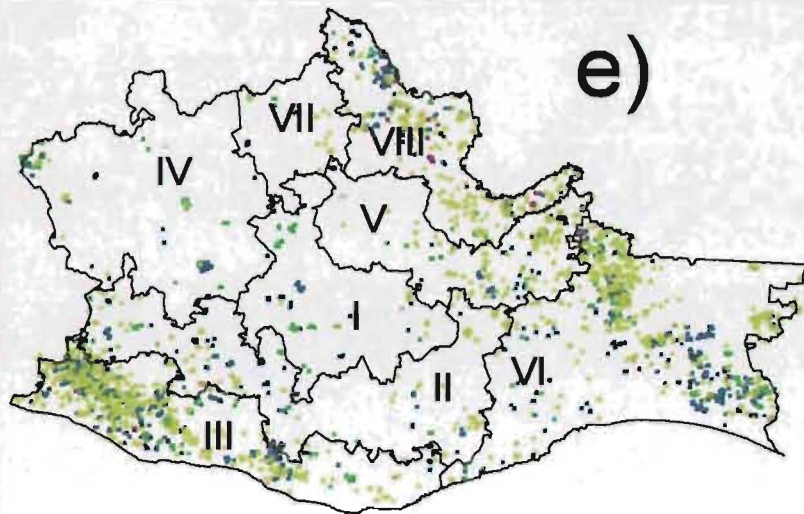
131

Distribución espacial de los puntos de calor en Oaxaca del 2000 al 2001.  
 Figura a) 2000 diurno, b) 2000 nocturno,  
 c) 2001 diurno, d) 2001 nocturno.  
 Elaboró: Laura Merit González Ramírez.  
 Fuente: Conabio, 2003

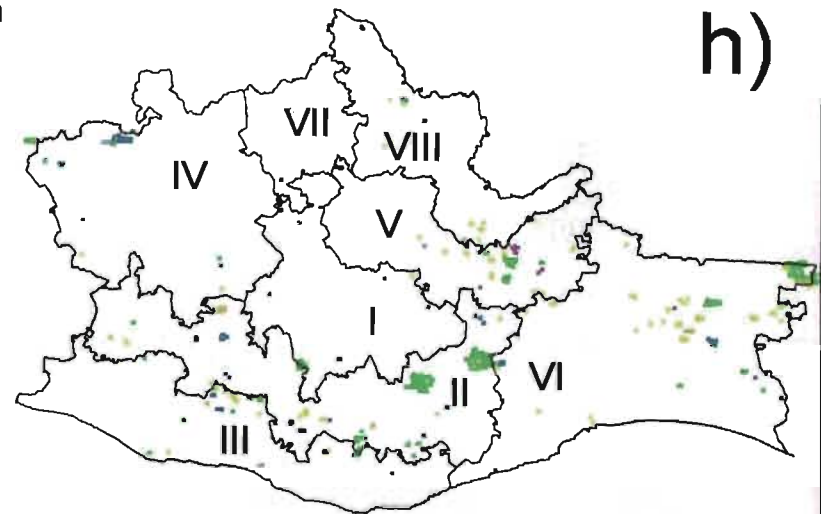
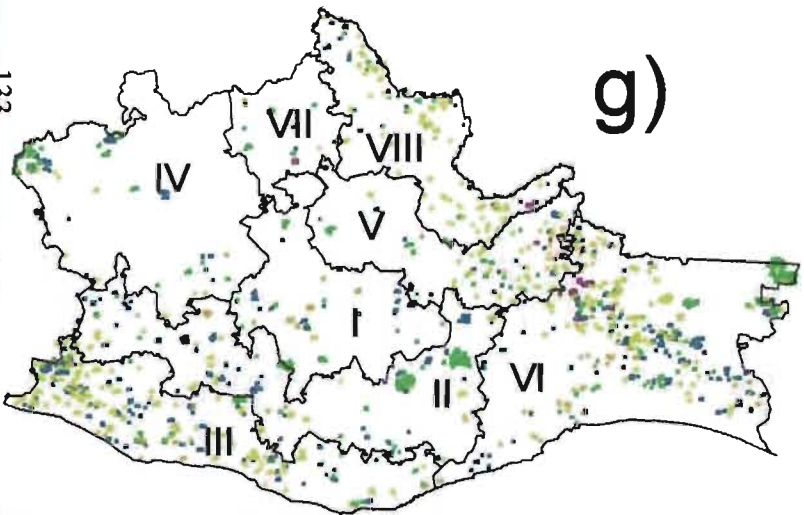


Los puntos de calor del año 2002 se presentan predominantemente en la parte suroeste y noreste del estado, los puntos del mes de mayo, son los más numerosos y se presentan al oeste de la Costa. En la parte noroeste del Istmo, al este de la Sierra Norte y se distribuyen por toda la región del Papaloapan (Figura e). El mes con la mayor cantidad de puntos es abril y se concentran en la parte central de la región del Istmo. En la versión nocturna los puntos calor del mes de mayo son los de mayor consideración y se presentan sin distinción en las regiones de la Sierra sur, el Istmo, la Sierra Norte y el Papaloapan (Figura f).

Para el año 2003 sobresale el hecho de que además de que se presentaron, como en otros años, la mayor cantidad puntos de calor en los meses abril y mayo, también se presentó un número considerable de puntos en marzo. Abril fue el mes con el mayor número de puntos, los cuales se localizan en la parte oeste de las regiones de la Sierra Sur y la Costa, en una franja que va de la parte sureste a la noroeste de la región del Istmo, y en una porción al este de la Sierra Norte, por otro lado, los puntos de calor detectados en marzo se distribuyeron preferencialmente al este de la región de la Sierra Sur, y al noreste del Istmo (Figura g). Mientras que en la versión nocturna los incendios de marzo tienen una distribución espacial similar a la versión diurna, y en ambas versiones son los de mayor frecuencia (Figura h).

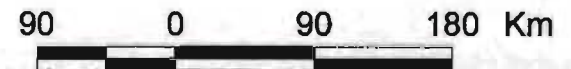


- I. Valles Centrales
- II. Sierra Sur
- III. Costa
- IV. Mixteca
- V. Sierra Norte
- VI. Istmo
- VII. Cañada
- VIII. Papaloapan



Distribución espacial de los puntos de calor en Oaxaca de 2002 al 2003. Figura e) 2002 diurno, f) 2002 nocturno, g) 2003 diurno, h) 2003 nocturno.

Elaboró: Laura Merit González Ramírez.  
Fuente: Conabio, 2003



La generación de la información acerca de los incendios en México consiste en la base de datos de Conafor y los puntos de calor de Conabio, la primera tiene información precisa de cada uno de los incendios que ocurren en cada entidad (tipo de evento, tipo de ecosistema afectado, causa, etc.) como se ha visto a lo largo de este estudio para el caso de Oaxaca. No obstante la distribución espacial se concreta a mostrar las zonas más afectadas a nivel regional, y aunque la base cuenta con datos más específicos como municipio y localidad donde se presentan los incendios, hace falta poner énfasis en que la información debe ser recopilada con mayor precisión (p.e usar el nombre correcto de las localidades y municipios). Otra limitante de estos datos es que la información se empezó a generar desde 1999, y a partir del 2002 se usaron además las imágenes tipo AVHRR-NOAA las de tipo MODIS, no obstante para el presente estudio se tomó la decisión de usar la información mensual a partir del año 2000 del tipo AVHRR-NOAA la cual contaba con 2 vistas (diurna y nocturna) desde ese año. Por otro lado una de las cualidades de esta información es que Conabio genera información puntual que complementa la información elaborada en este estudio, pues muestra gráficamente la distribución espacial y temporal de los incendios. Estas imágenes son capaces de detectar incendios en áreas remotas a donde el ser humano no tiene acceso. Está por verificarse que la información proporcionada sea más exacta desde el punto de vista de la localización y la frecuencia de los eventos que la recabada por Conafor.

En un ejercicio de complementariedad podemos decir que las regiones como el Istmo y la Sierra Sur son áreas con gran cantidad de incendios. En el Istmo los incendios se localizan en una franja que va de nor-noroeste a sur-sureste y también ocurren eventos de gran magnitud en la zona cercana a los Chimalapas (muy cercana a la frontera con el estado de Chiapas). La distribución temporal de los incendios parece tener variaciones año con

año, p.e en el año 2000, 2001 y 2002 la mayor parte de los incendios sucedieron en Abril y Mayo, pero en el 2003 los incendios en Marzo fueron más numerosos que los de los meses mencionados. Además los píxeles de estos incendios en algunos casos se encuentran agrupados y también fueron captados en la imagen nocturna lo cual podría indicar que se trataron de eventos de grandes proporciones que duraron varias horas, aunque cabe la posibilidad de que sean incendios de regular tamaño localizados cerca uno de otro.

Un aspecto importante es que la Costa, el Papaloapan y el sur de la Sierra Norte según los puntos de calor son áreas con alta frecuencia de incendios, aspecto que no coincide con los resultados anteriores (Conafor). Por lo tanto, la superficie afectada es mayor en estas regiones, tanto en los bosques tropicales como en los bosques templados. Esta información es confiable ya que coincide con los sitios que registran los niveles más altos de deforestación en Oaxaca según Velázquez et al (2003), y algunos autores (Rodríguez y Fulé, 2003) indican que la quema excesiva de la vegetación, como en este caso la alta frecuencia de incendios, contribuye a la degradación y eventual deforestación del área donde se presentan. Este proceso va acompañado de la transformación de la vegetación natural a vegetación secundaria, la cual está relacionada a prácticas de manejo agrícola (Metzger, 2003).lo cual a la larga eliminaría completamente la cobertura original, y convierte a las regiones mencionadas con anterioridad como áreas prioritarias para implantar medidas de manejo de incendios forestales.

### ***2.3.1 Distribución de los puntos de calor por tipo de vegetación***

Para realizar este análisis se sobrepuso el mapa *Conjunto de datos vectoriales de uso de suelo y vegetación* de Oaxaca al mapa de distribución espacial y temporal de los puntos de calor, y se registraron los grupos de vegetación con 20 o más puntos (Tabla 10).

1. Bosque de encino pino (BPE), 2. Bosque de encino-pino con vegetación secundaria (BPEVS), 3. Bosque de pino con vegetación secundaria (BPVS), 4. Bosque de pino-encino (BPE), 5. Bosque de pino (BP), 6. Bosque mesófilo de montaña con vegetación secundaria (BMMVS), 7. Chaparral (CH), 8. Área sin vegetación (S/V), 9. Matorral desértico con vegetación secundaria (MDVS), 10. Cuerpo de agua (C/A), 11. Selva alta y mediana perennifolia (SAMP), 12. Selva alta y mediana subperennifolia (SAMS), 13. Selva baja caducifolia con vegetación secundaria (SBC), 14. Selva baja caducifolia (SBC), 15. Selva mediana caducifolia con vegetación secundaria (SMCVS), 16. Otras (Palmares, tulares, popal, vegetación halófila, dunas costeras) 17. Uso agropecuario (cultivos y pastizales) (U/A), 18. Pastizal inducido (PI)

Los resultados mostraron que la frecuencia de los posibles incendios por tipo de vegetación. En el año 2000 diurno los meses más afectados fueron abril y mayo, los cuales se registraron más de 20 puntos de calor en algunos tipos de vegetación como son: el bosque de encino pino con vegetación secundaria, el bosque de pino-encino, bosque mesófilo de montaña con vegetación secundaria, selva alta y mediana perennifolia, selva alta y mediana subperennifolia, selva baja caducifolia, la selva mediana caducifolia con vegetación secundaria, pastizal inducido y en el grupo de uso agropecuario, este último fue el más afectado. Mientras que, en la versión nocturna del mismo año el bosque de pino-encino con vegetación secundaria, el bosque de pino con vegetación secundaria y el bosque de pino-encino fueron los grupos que más puntos de calor presentaron (Tabla 10).

En el 2001 se detectaron más de 20 puntos de calor de enero a junio en algunos de los diferentes grupos de vegetación, el bosque de encino pino con vegetación secundaria, el bosque de encino-pino, el bosque de pino con vegetación secundaria, el bosque de pino encino y el bosque mesófilo de montaña con vegetación secundaria, registraron puntos de marzo a mayo; por otro lado la selva alta y mediana perennifolia, la selva alta y mediana subperennifolia, la selva baja caducifolia, la selva mediana caducifolia con vegetación secundaria y el pastizal inducido registran incendios de enero a mayo. Finalmente en el grupo de uso agropecuario tuvo la mayor cantidad de puntos en los meses de enero a junio. En la versión nocturna solo el bosque de pino-encino registró puntos de calor (Tabla 10).

En el 2002 los meses más afectados fueron marzo abril y mayo, y los grupos con puntos de calor de marzo a mayo fueron bosque de encino-pino con vegetación secundaria, bosque de pino-encino, bosque de pino con vegetación secundaria, bosque de pino-encino, bosque mesófilo de montaña con vegetación secundaria, selva alta y mediana perennifolia, la selva alta y mediana subperennifolia, la selva baja caducifolia, la selva mediana caducifolia con vegetación secundaria, el pastizal inducido, mientras que el uso agropecuario tuvo incendios de enero a junio y tuvo la mayor cantidad de puntos. En la versión nocturna se detectaron incendios solo en el bosque de pino-encino y en el uso agropecuario (Tabla 10).

En el año 2003, los meses más afectados fueron marzo abril y mayo. El bosque de encino-pino con vegetación secundaria, bosque de pino-encino, bosque de pino con vegetación secundaria, bosque de pino encino y el bosque mesófilo de montaña con vegetación secundaria registraron incendios de marzo a mayo. Mientras que, la selva alta y mediana perennifolia, la selva alta y mediana subperennifolia, selva baja caducifolia, la selva mediana caducifolia con vegetación secundaria y el pastizal inducido tuvieron



incendios de febrero a junio; por último el uso agropecuario tuvo la mayor cantidad de puntos en los meses de enero a junio. En la versión nocturna el bosque de pino-encino, el bosque de encino-pino y la selva alta y mediana perennifolia (Tabla 10).

Los estudios realizados en otros lugares del mundo revelan que la alta densidad de puntos de calor ocurre en los mosaicos de pastizales y áreas de cultivo (Suyanto et al., 2004), lo cual se coincide en el caso de Oaxaca donde el uso agropecuario registra la mayor cantidad de puntos en todos los años y en los meses críticos, estos son abril y mayo. Esta es una evidencia de que los incendios no tienen un régimen natural y que se llevan a cabo por causa no naturales, como los ya mencionados procesos de cambio de cobertura y de uso de suelo.

Por otro lado, los resultados arrojaron que los tipos de vegetación de bosque templado se queman sobre todo en marzo y abril, debido a que especies como las coníferas son más flamables en la primavera cuando los niveles de humedad son bajos (Fuller, 1991). Los bosques tropicales se incendian sobretodo en abril y mayo cuando el estrés hídrico es mayor y la abundancia de combustible también es grande. La variación de área incendiada hará que la distribución de los tipos de vegetación sobre el paisaje no sea estática, para el paisaje de cada una de las regiones habrá factores naturales e inducidos por el ser humano que determinarán el efecto del fuego. Por ejemplo, la descarga del combustibles y condiciones estructurales que varían entre los pastizales, arbustos y bosques templados y tropicales (Gustafson, 2004) determinará que haya diferentes grados de amenaza de fuego, que junto con la presión de las actividades antrópicas favorecerá distintos grados de cambio sucesional.

Los resultados de este estudio indican que las modificaciones a la estructura del paisaje hechas por los incendios crean un ambiente homogéneo dominado por agricultura y

probablemente vegetación secundaria. Un uso más intensivo del fuego en el paisaje de Oaxaca, significa acelerar los procesos negativos de cambio de uso de suelo y de cobertura como la deforestación, estos cambios ya han sido documentados en los bosques tropicales por Metzger (2003) en Brasil. La Costa es un ejemplo claro de que las medidas deben ser implantadas a la brevedad, pues es un lugar en donde la alta frecuencia de los incendios revela la existencia de los procesos mencionados.

Tabla 10. Distribución anual de puntos de calor por tipo de vegetación en Oaxaca.

fecha	TIPO DE VEGETACIÓN																		
	2000	BEPVS	BEP	BPVS	BPE	BP	BMMVS	CH	MDVS	SAMP	SAMS	SBCVS	SBC	SMCVS	PI	SV	C/A	OTRAS	U/A
<b>diurno</b>																			
enero																			
febrero																			
marzo																			
abril		74	22		112	58	32			29	39		148	69	110				30
mayo		22			85		22			224	34		134	108	66				195
junio																			362
<b>nocturno</b>																			
enero																			
febrero																			
marzo																			22
abril		17		21	39														
mayo																			
junio																			
<b>2001</b>																			
<b>diurno</b>																			
enero									61	52		23		16					29
febrero									84	85		26		25					48
marzo		20			21							37		30					50
abril		48	34	50	98		21					194	128	125		30	26		297
mayo		34		38	77							151	203	75					326
junio																			28
<b>nocturno</b>																			
enero																			
febrero																			
marzo																			
abril					20														
mayo																			
junio																			

fecha	TIPO DE VEGETACION																	
	BEPVS	BEP	BPVS	BPE	BP	BMMVS	CH	MDVS	SAMP	SAMS	SBCVS	SBC	SMCVS	PI	S/V	C/A	OTRAS	U/A
<b>2002</b>																		
<b>diurno</b>																		
enero																		22
febrero																		21
marzo	32	21		26					29			32	16	39				108
abril	39		46	63					97	26		139	93	77		25		258
mayo	42	21	28	140		70			287	53		157	139					497
junio																		22
<b>nocturno</b>																		
enero																		
febrero																		
marzo																		
abril																		29
mayo				64														
junio																		
<b>2003</b>																		
<b>diurno</b>																		
enero																		22
febrero												26						44
marzo	55	20	25	64					28			55		31				78
abril	44		53	70					44	34		90	44	63				159
mayo	21			67		29			132	37		87	64	27				245
junio									22									28
<b>nocturno</b>																		
enero																		
febrero																		
marzo		27		35														
abril																		
mayo				39					25									
junio																		

## 2.4 Causas de los incendios

### 2.4.1 Causas regionales de los incendios por año

Al inicio del siglo XIX se consideraba que los conductores del comportamiento de los incendios eran fundamentalmente los factores climáticos (Weisberg y Swanson, 2003), sin embargo el desarrollo de las actividades industriales alteró significativamente el régimen de los incendios y durante el siglo siguiente la frecuencia del fuego se incrementó en muchas partes del mundo, especialmente cerca de los trópicos, donde el fuego se usa como un mecanismo de aclareo (Tilman et al., 2000).

Las causas de los incendios fueron clasificadas por la Conafor de la siguiente manera: Actividades agropecuarias (1), Actividades forestales (2), Actividades de producción (3), Limpia por derechos de vía (4), Fumadores (5), Fogatas de paseantes (6), Quema de basura, (7), Litigios (8), Rencillas (9), Aprovechamiento forestal (10), Cacería furtiva (11), Descargas eléctricas (12), Cultivos ilícitos (13), Ferrocarril (14), Causas no determinadas, (15), Sin causa determinada (16).

El patrón de las causas de los incendios en Oaxaca sugiere que las igniciones se deben fundamentalmente a las actividades agropecuarias, que son acciones eminentemente antrópicas. Las regiones que registraron estas actividades como la causa principal fueron: la Sierra Norte, el Istmo, la Sierra Sur y el Papaloapan.

La Sierra Norte registró en 1998 10,797 ha quemadas, la mayor parte fueron causadas por las actividades agropecuarias (10,418 ha). En 1999 se incendiaron 3,445 ha, la mayor parte fueron originadas por actividades agropecuarias (3,264.50 ha). En el 2000 los incendios afectaron a 747 ha, la mayor parte fueron originados por actividades agropecuarias (511.50 ha). En el 2001 se incendiaron en total 491.50 ha, la mayoría se originó por actividades agropecuarias (352). En el 2002 los incendios sumaron 1,126.50 ha

quemadas, la mayoría de los incendios fueron causados por actividades agropecuarias, las cuales impactaron 661 ha, mientras que 379 ha se quemaron por causas que no pudieron ser determinadas. El año 2003 registró 4,453 ha incendiadas, la mayor parte se originó por actividades agropecuarias (2,741.50 ha), mientras que 1,128 ha se incendiaron por causas no determinadas (Figura 36j). El número de incendios en 1998 demostró que la causa principal de los incendios fueron las actividades agropecuarias con 31 eventos, de la misma forma en el 2003 las actividades agropecuarias fueron las detonadoras principales con 21 incendios (Figura 36i).

La región del Istmo registró en el año de 1998, 211,186 ha quemadas, la mayor parte de estas fueron originadas por actividades agropecuarias, ya que 193,344 ha que se quemaron bajo este criterio, mientras que 16,770 ha se quemaron por condiciones que no fueron determinadas. El año de 1999 registró 938 ha impactadas, la mayoría por actividades agropecuarias (928 ha quemadas. El año 2000 tuvo en total 705.50 ha, 454 se originaron por actividades agropecuarias. En el 2001 se incendiaron 1,956 ha, las causas fueron principalmente las actividades agropecuarias, que impactaron 1,640 ha. En el 2002 sumaron 19,981 ha quemadas, la causa principal de su origen se debe a actividades agropecuarias, (16,631 ha). El 2003 registró 17,141 ha quemadas, la mayor parte se originaron por actividades agropecuarias (7,888 ha), mientras que 5,818 ha quemadas fueron registradas bajo condiciones que no fueron determinadas (Figura 36k). El número de incendios demuestra que las causas principales para el año 1998 fueron las actividades agropecuarias con 54 incendios, de igual modo sucedió en el 2001 con 33 eventos y finalmente hubo 27 en el 2003 por las causas ya mencionadas (Figura 36l).

En la Sierra Sur hubo 12,894.50 ha incendiadas en 1998, la mayor parte se origino por actividades agropecuarias (6,165 ha), mientras que los fumadores provocaron la quema

de 4,065.75 ha. Para 1999 el total de ha afectadas fue de 7,766 y la mayor parte de estos incendios se originaron gracias a las actividades agropecuarias, (6,643.50 ha). En el año 2000 se quemaron 49.3 ha, las principales causas respecto al número de ha quemadas son los fumadores los cuales incendiaron 1,772 ha, después se encuentran las causas no determinadas que impactaron 1,382 ha, mientras que las actividades agropecuarias ocasionaron que 1,332 ha se quemaran. En el 2001, las ha quemadas sumaron 5,091, de estos la mayor parte fueron ocasionados por actividades agropecuarias (1,685.50 ha), mientras que 1,891 ha se quemaron por causas no determinadas, a la vez que 986 ha se quemaron por la imprudencia de los fumadores. Para el 2002 se quemaron 2720.50 ha, la mayor parte se iniciaron por las actividades agropecuarias se incendiaron 1,896.50 ha. Para el 2003 el total de ha incendiadas fue de 30,430, las causas principales no se pudieron determinar ya que 15,360 ha quemadas se registraron bajo este criterio, mientras que 10,535 ha quemadas, se produjeron por actividades agropecuarias (Figura 36c). La mayor parte de los eventos producidos en 1998 se debieron a actividades agropecuarias con 41 incendios, mientras que 23 y 13 incendios se produjeron principalmente en el 2001 y 2003 por ésta causa (Figura 36d).

En la región del Papaloapan se registraron 158 ha incendiadas en 1998, 154 ha se originaron por actividades agropecuarias. Para 1999 hubo 2,011 has incendiadas, la mayoría se originaron por las actividades agropecuarias (1,761). En el 2000 el total de ha incendiadas fue de 8.25, las cuales se originaron en su totalidad por actividades agropecuarias. En el año 2001 el total de ha incendiadas fue de 260, y la mayoría se debieron a conflictos o litigios (150 ha quemadas) y rencillas (110 ha impactadas). En el 2002 hubo 3,199 ha quemadas, la mayor parte se suscitó por actividades agropecuarias (1570), y para 1,529 ha no pudo determinarse su origen. En el 2003 hubo 1,390 ha

quemadas, 865 se originaron por causas no determinadas, mientras que 525 ha se quemaron por causas que no se pudieron determinar (Figura 36ñ). En los años 1999 y 2002, la causa principal fueron las actividades agrícolas y pecuarias con 18 y 11 incendios (Figura 36o).

Estos resultados son similares a los reportados por Jardel et al (2003), estos autores encontraron que el 33% de los incendios fueron por causas agrícolas, el 15% cultivos ilegales, 11% provocados intencionalmente, mientras que el 32% por causas no determinadas. En México los incendios adquirieron relevancia cuando se usaron para el manejo de los ecosistemas y otras actividades humanas (Villers y López, 2004), en la actualidad los efectos y propiedades del fuego no pueden ser aislados de los disturbios antrópicos (Dwire y Kauffman, 2003), pues la quema de la biomasa optimiza la labor de gasto de energía y capital para el clareo del terreno para la plantación de cosechas y el pastoreo del ganado. Para todo el periodo de estudio los resultados indican que existen causas como las agropecuarias que crean incendios de extensión diversa, mientras que otras como descargas eléctricas, fumadores, fogatas de paseantes o actividades forestales crean incendios que no son de gran extensión pero si de alta frecuencia.

En algunas regiones los incendios se originaron por conflictos en la tenencia de la tierra. Por ejemplo, en la región de la Mixteca que tuvo en 1998, 6,110.50 incendiadas en 39 incendios, la mayor parte se produjo por litigios (3,859 ha quemadas). Para 1999, las ha quemadas sumaron 1,022, las rencillas impactaron 371 ha, los fumadores 313 ha, y las fogatas de paseantes ocasionaron la quema de 236 ha. El año 2000 tuvo 1,378.50 incendiadas, la mayoría las causas no fueron determinadas (733 ha quemadas), mientras que 361 ha se quemaron por actividades agropecuarias. Para el año 2001 las ha quemadas ascendieron a 1,294.50, las actividades agropecuarias originaron 401.50 ha quemadas, mientras que las causas no determinadas impactaron 369 ha. En el 2002 las ha impactadas



ascendieron a 1,720, la causa principal se debe a las actividades agropecuarias que afectaron a 1,095.50 ha. En el año 2003 se registraron 7,158 ha impactadas, para la mayoría no se determinó la causa que las originó pues, (6,167.50 ha) (Figura 36g). Para 1998 los incendios se originaron principalmente por los fumadores con 17 eventos, mientras que la causa de 25 incendios en el 2003 no pudo ser determinada (Figura 36h).

La región que registra la mayor cantidad de incendios de origen no agropecuario fue la Mixteca con más de 3,000 hectáreas quemadas por rencillas, en este caso los incendios son provocados intencionalmente en el contexto de conflictos de tenencia de la tierra y sabotaje a las actividades de aprovechamiento forestal en tierras en disputa (Villers y López, 2004). Esto sucede en muchas partes del mundo como en Sumatra Indonesia, donde las causas más importantes para la aparición de incendios son los problemas de distribución de tierra a través de las políticas nacionales y las actividades agropecuarias (Stolle y Lambin, 2003; Suyanto et al., 2004).

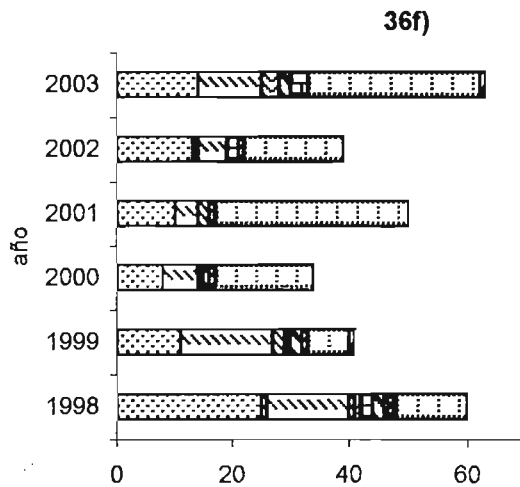
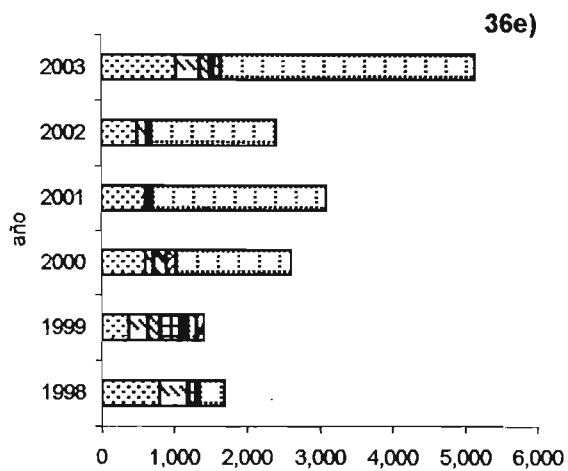
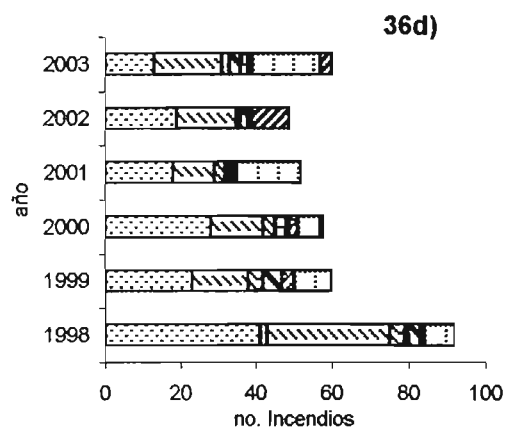
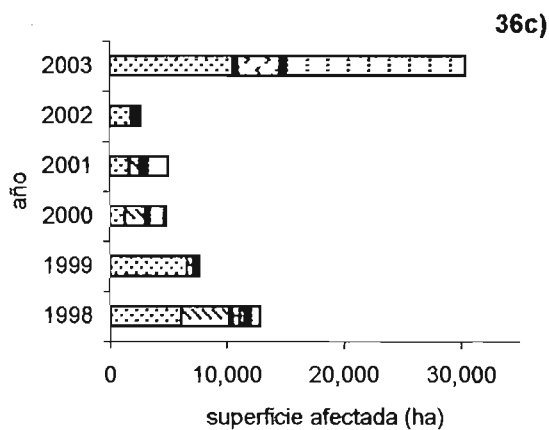
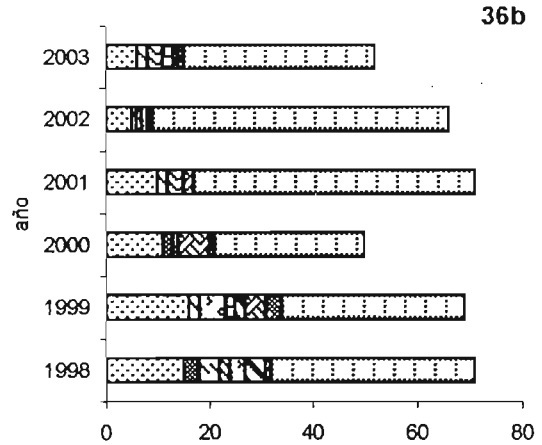
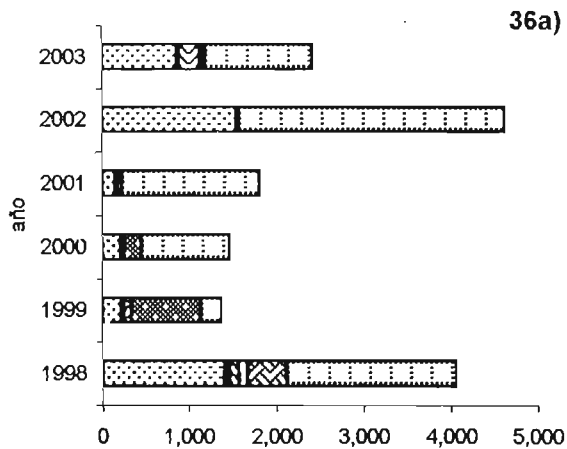
En algunas regiones, las causas principales no se pudieron determinar como sucedió en los Valles Centrales, la Costa y la Cañada. Los Valles Centrales en 1998 registraron en total 4065.75 ha incendiadas, de 1,939.25 no se determinó las causas de su origen, mientras que por las actividades agropecuarias 1,406 ha fueron impactadas. En 1999 se registraron 1,406 ha impactadas, la mayor parte se originó debido a la construcción del ferrocarril (803 ha). Para el 2000 1,478 ha se incendiaron, la mayoría no pudo determinarse la causa de su origen (10,022.50 ha quemadas). En el 2001 el total de has quemadas es de 1,820.50 ha, la mayoría fueron originados por causas que no se pudieron determinar (1,586 ha). Para el 2002 el total de has incendiadas fue de 4,726.50 ha, de la mayor parte no pudo determinarse la causa de su origen pues 3,044.50 ha quemadas fueron registradas bajo este criterio, mientras que 1,545 ha fueron impactadas por las actividades agropecuarias. Para el año

2003 el total de has incendiadas fue de 2,423.50 ha quemadas, y su origen se debe a causas que no se determinaron, (1,218.50 ha) y a las actividades agropecuarias (867 ha) (Figura 36a). El número de incendios de 1998 al 2003 fue homogéneo, y en ambos casos las causas principales no se pudieron determinar registrando 39 y 54 eventos respectivamente (Figura 36b).

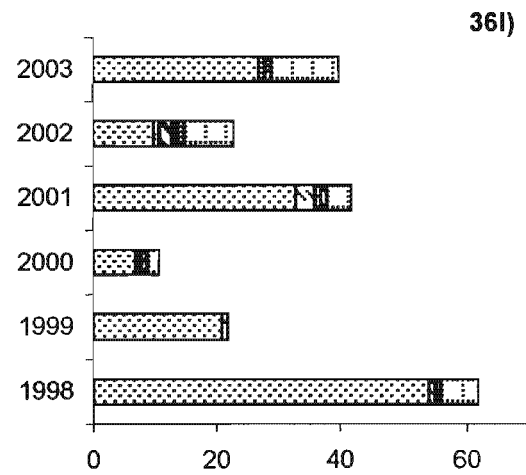
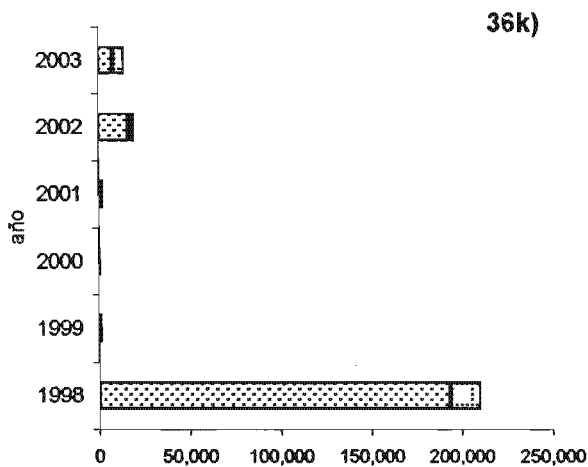
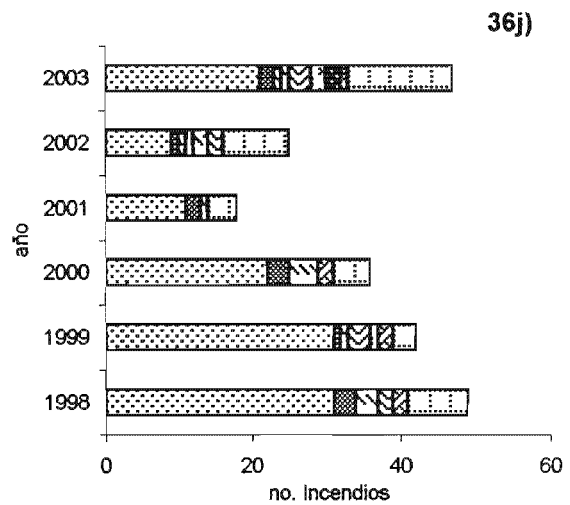
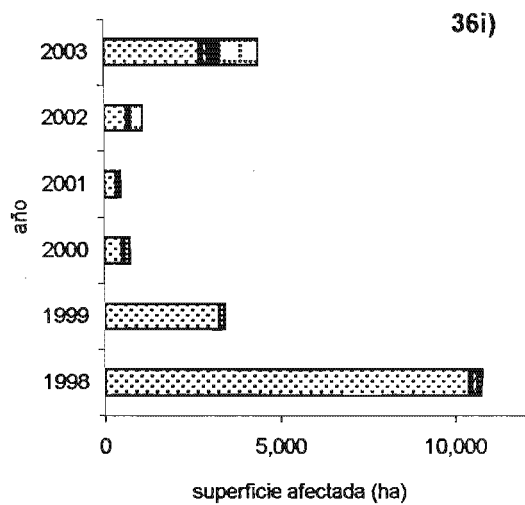
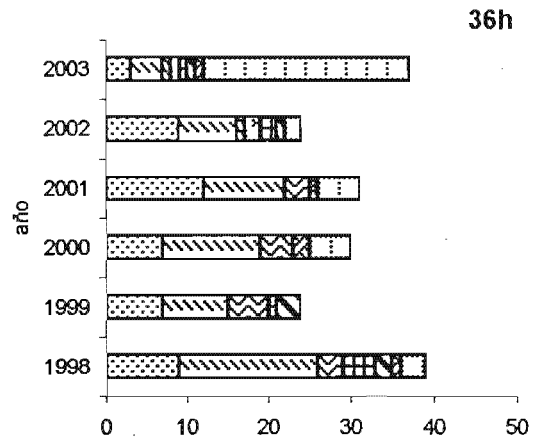
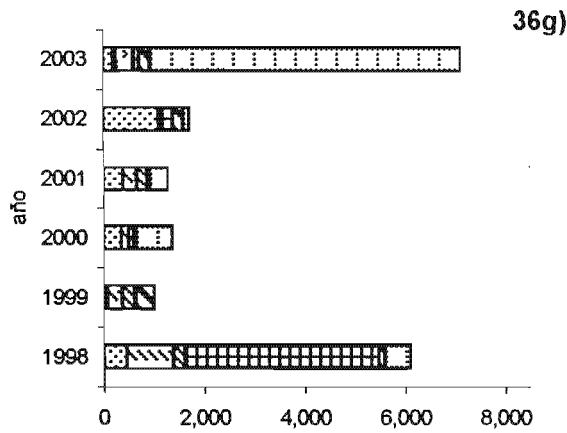
La región de la Costa registró en 1998 1,700.50 ha quemadas, la mayor parte de estos incendios fueron ocasionados por actividades agropecuarias (802 ha quemadas), mientras que 394 ha se quemaron por causa de los fumadores, a la vez que 343 no pudieron ser reconocidas bajo ninguna causa en específico. En 1999 se quemaron 1,429 ha, la mayor parte se debió a la presencia de actividades agropecuarias pues impactaron a 373 ha quemadas, mientras que 280 ha se quemaron a causa de litigios y 276 ha fueron incendiadas a causa de los fumadores. En el 2000 se registraron 2,619.50 ha incendiadas, la causa principal no pudo ser determinada pues 1,579 ha quemadas fueron registradas bajo este criterio. Para el 2001 se registraron 3,103 ha quemadas, la causa principal no se pudo determinar, bajo ésta condición se registraron 2,399 ha. Para el 2002 las ha quemadas ascendieron a 2,417, la causa principal no pudo ser determinada (1,723 ha quemadas). Para el 2003 las ha quemadas ascendieron a 5,145, la mayoría tuvo lugar gracias a causas que no fueron determinadas, 3,493 ha quemadas fueron registradas bajo este criterio, mientras que 1,035 ha quemadas se originaron por actividades agropecuarias (Figura 36e). La causa principal de los incendios en 1998 fueron las actividades agropecuarias con 25 eventos, para el 2001 las causas de la mayoría de los incendios (33) no fueron determinadas fueron, finalmente para el 2003 las causas de la mayor parte de los incendios (29) no pudieron ser determinadas (Figura 36f).

En la región de la Cañada se registraron 3,883 ha incendiadas en 1998, las ha quemadas por actividades agropecuarias sumaron 4,931 ha. En 1999 se registraron en total 168 ha incendiadas, la mayor parte se originó a causa de actividades agropecuarias (137 ha). En el 2000 se registraron 90 ha quemadas, la mayor parte se originó por causas que no se pudieron determinar afectando (85 ha). En el 2001 se registraron 821 ha quemadas, 815 no tuvieron una causa en específico. Para el 2002 se incendiaron 477 ha, 347 fueron originadas por actividades agropecuarias. El 2003 registró 1,225 ha quemadas, 530 se originaron por actividades agropecuarias, mientras que de 503 ha que se quemaron la causa no fue determinada (Figura 36m). La causa principal de los incendios en 1998 fueron las actividades agropecuarias (13 incendios) (Figura 36n).

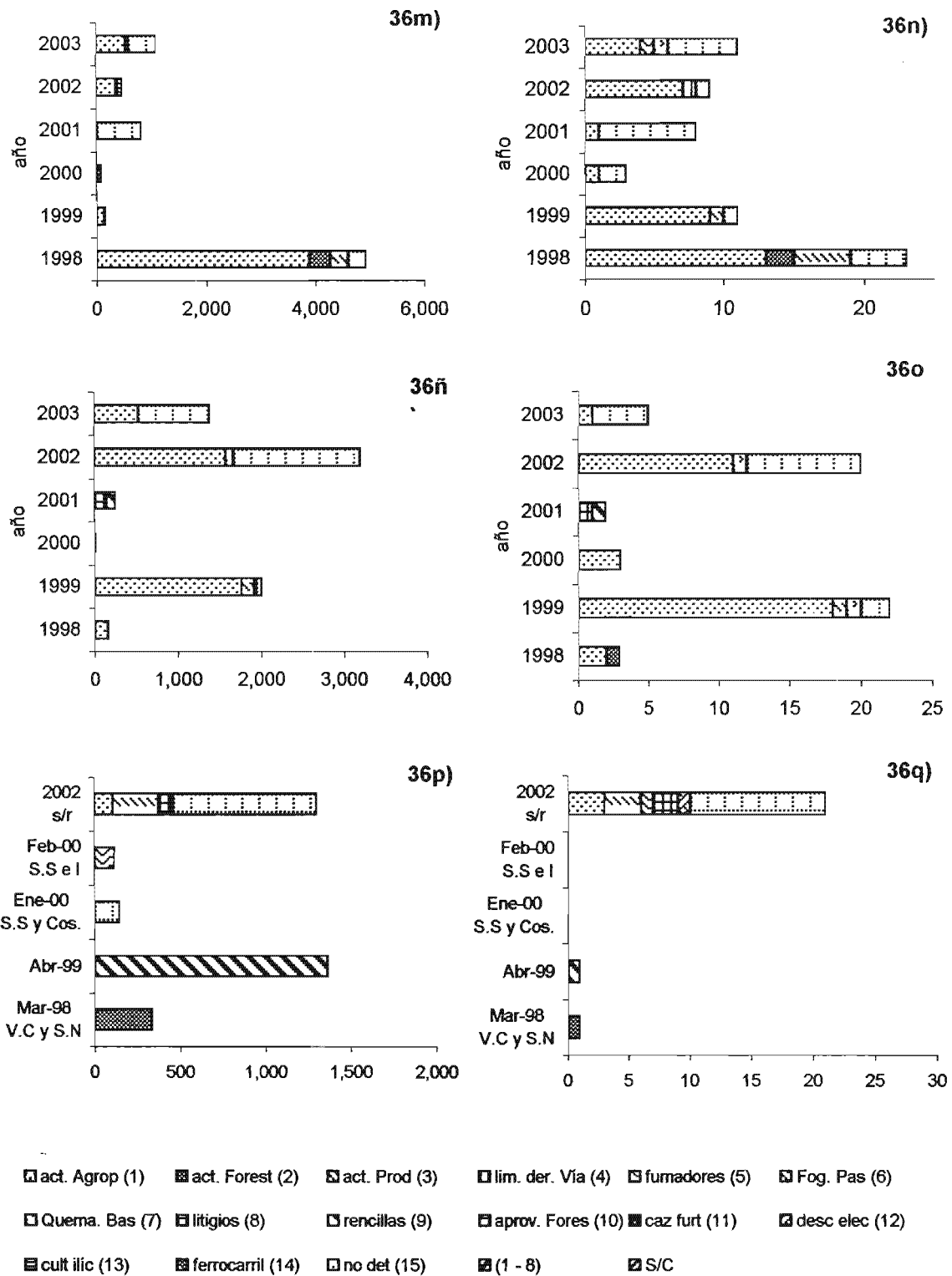
Un estudio realizado en la Reserva de la Biosfera de Manantlán, Jalisco (Villers y López, 2004) indica que el alto porcentaje de incendios reportados bajo ésta característica (causas no determinadas) en realidad corresponde a incendios que se originaron en sitios remotos, algunos de los cuales pudieron tener su origen en la quema de desmontes o del sotobosque para establecer cultivos de estupefacientes (marihuana y amapola) o borrar sus rastros. Además se menciona que ésta puede ser una causa generalizada de incendios en casi todas las áreas de Montaña de México, según la evidencia anecdótica del personal de combate de incendios, trabajadores forestales y pobladores de distintas partes del país. Debido a estas complicaciones, el registro de los incendios relacionados a la narcoproducción muchas veces aparece como “causa desconocida” o incluso como quema agrícola. Un aspecto importante es que todas las causas están relacionadas a actividades humanas, la única causa natural son las descargas eléctricas y estas no desempeñan un papel importante, solo llegan a presentarse en algunos meses como abril o mayo, sin que tengan repercusiones graves en superficie afectada y número de incendios.



- |                |                   |                |                   |
|----------------|-------------------|----------------|-------------------|
| act. Agrop (1) | act. Forest (2)   | act. Prod (3)  | lim. der. Vía (4) |
| fumadores (5)  | Fog. Pas (6)      | Quema. Bas (7) | litigios (8)      |
| rencillas (9)  | aprov. Fores (10) | caz furt (11)  | desc elec (12)    |
| cult ilíc (13) | ferrocarril (14)  | no det (15)    | (1 - 8)           |
| S/C            |                   |                |                   |



- |                |                 |                |                   |                   |
|----------------|-----------------|----------------|-------------------|-------------------|
| act. Agrop (1) | act. Forest (2) | act. Prod (3)  | lim. der. Via (4) | fumadores (5)     |
| Fog. Pas (6)   | Quema. Bas (7)  | litigios (8)   | rencillas (9)     | aprov. Fores (10) |
| caz furt (11)  | desc elec (12)  | cult ilíc (13) | ferrocarril (14)  | no det (15)       |
| (1 - 8)        | S/C             |                |                   |                   |



**Figura 36. Superficie afectada (ha) y número de incendios por causa. Figuras 36a y 36b) Valles Centrales, Figuras 36c y 36d) Sierra Sur, Figuras 36e y 36f) Costa, Figuras 36g y 36h) Mixteca, Figuras 36i y 36j) Sierra Norte, Figuras 36k y 36l) Istmo, Figuras 36m y 36n) Cañada. Figuras 36ñ v 36o) Papaloapan. Figuras 36p v 36q) otras.**

#### **2.4.2 Distribución temporal de las causas de los incendios por mes**

La incidencia de incendios se puede relacionar con variaciones del clima, y particularmente de la precipitación pluvial, estos factores determinan que los incendios forestales tengan lugar durante la temporada seca del año (diciembre-junio). En los ambientes densamente húmedos como en algunas regiones de Oaxaca, un año seco está asociado a la presencia de un mayor número de incendios debido a que la cantidad y la flamabilidad del material combustible se incrementa, (Stolle y Lambin, 2003) en este sentido existen ciertos meses en el año que son más susceptibles a la presencia de incendios. Por otro lado las actividades antrópicas como la preparación de tierras para la siembra de cultivos se suman a las condiciones de estiaje de esta época.

Así, en 1998 se registraron 252,184 ha afectadas de diciembre de 1997 a junio de 1998, la causa principal de diciembre a marzo no se pudo determinar, ninguno de estos meses registró más de 10,000 ha quemadas, mientras que abril que fue el mes más impactado con 198,084 ha impactadas, la causa principal fueron las actividades agropecuarias (Figura 37a). Respecto al número de incendios las causas principales del mes de diciembre a marzo son los fumadores, las actividades agropecuarias y las causas no determinadas. Ninguna rebasó los 23 eventos mensuales, mientras que abril 87 incendios por actividades agropecuarias, en los meses restantes ésta causa se mantienen como la más importante registrando 52 eventos en mayo y 10 en junio (Figura 37b).

El año de 1999 registró 19,550 ha afectadas de enero a junio, los meses más afectados por incendios resultaron ser abril y mayo, la causa principal de los incendios para ambos meses son las actividades agropecuarias registrando 7,908 y 4,853 ha quemadas respectivamente, la segunda causa más importante de los incendios fueron las rencillas y se registraron en el mes de abril afectando a 1,771 ha (Figura 37c). Respecto al

número de incendios los meses más afectados fueron abril y mayo con 87 y 52 ha afectadas respectivamente y fueron impactadas por las actividades agropecuarias, de febrero a junio la causa más importante fueron las actividades agropecuarias (25 incendios en abril), sobresale que la tercera causa fueran los fumadores (16 eventos en abril) y hasta el mes de junio se siguieron produciendo incendios por ésta causa (Figura 37d).

El año 2000 con 12,203 ha afectadas de diciembre de 1999 al mes de abril del 2000, los incendios se produjeron principalmente en este mes, la causa principal no se pudo determinar (2,948 ha afectadas). La segunda causa más importante se refiere a las actividades agropecuarias y sumaron 1,935 ha quemadas, mientras que los fumadores quemaron 1,796.50 ha en abril (Figura 37e). El número de incendios fue diferencial, abril registró el mayor número de eventos (45), la causa fueron las actividades agropecuarias. Otras causas importantes ocurrieron en marzo, las no determinadas y las descargas eléctricas con 26 y 11 eventos respectivamente (Figura 37f).

En el año 2001, de diciembre del 2000 a julio del 2001 las ha dañadas sumaron 37,670.5, el mes más afectado fue abril, la causa principal de los incendios no pudo ser identificada (se registraron 4,398 ha bajo este criterio), la segunda causa principal fue la existencia de actividades agropecuarias con 1,556 ha quemadas, mientras que para mayo las actividades agropecuarias fueron la causa más importante con 2,074.5 ha quemadas (Figura 37g). Respecto al número de incendios el mes de marzo fue el más afectado con 56 eventos registrados a causa de condiciones no determinadas, mientras que la segunda causa más importante fueron las actividades agropecuarias (33 eventos), el segundo mes más afectado fue abril con 40 eventos de los cuales no se supo su origen mientras que 25 incendios fueron producidos por actividades agropecuarias, ésta causa registró un pequeño repunte al siguiente mes con 26 eventos siendo ésta la causa principal de los incendios (Figura 37h).

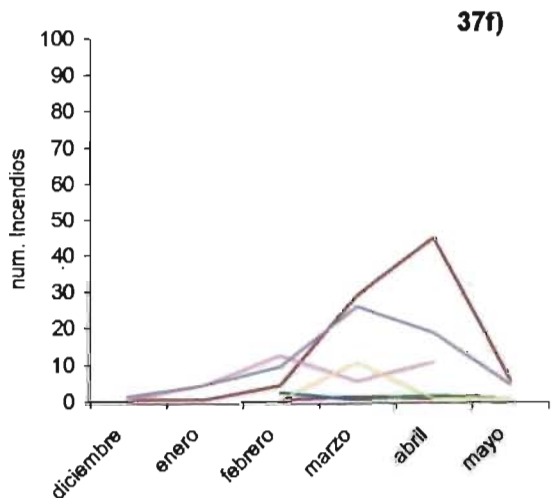
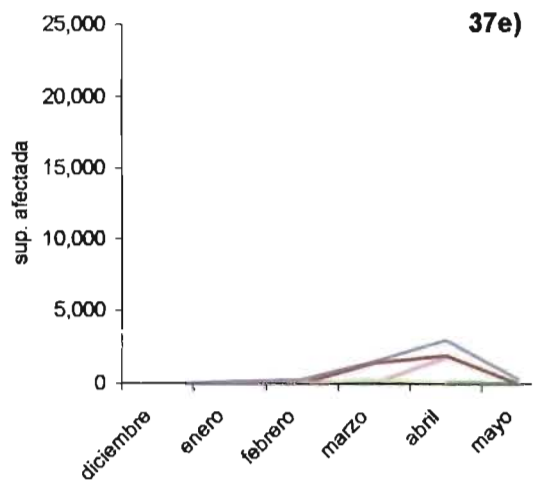
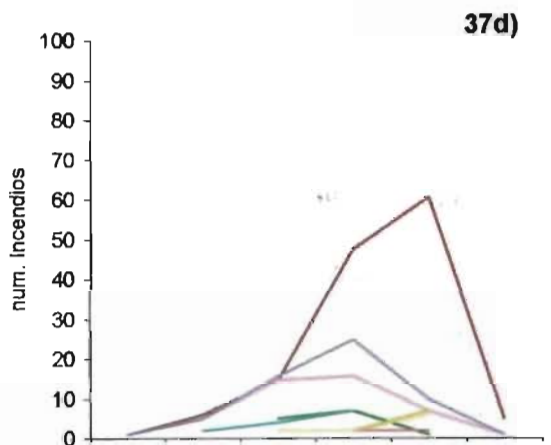
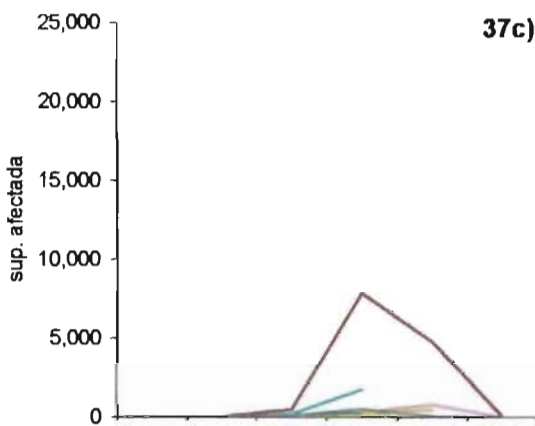
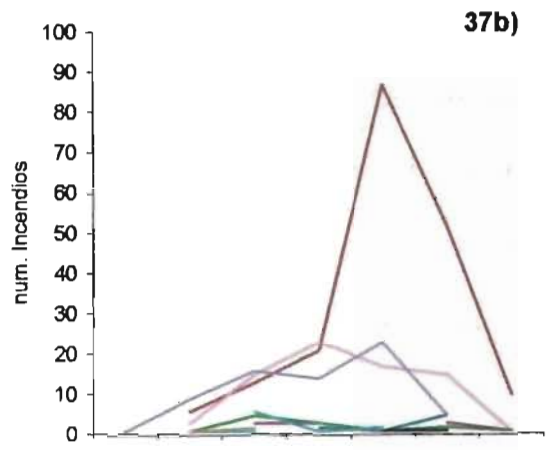
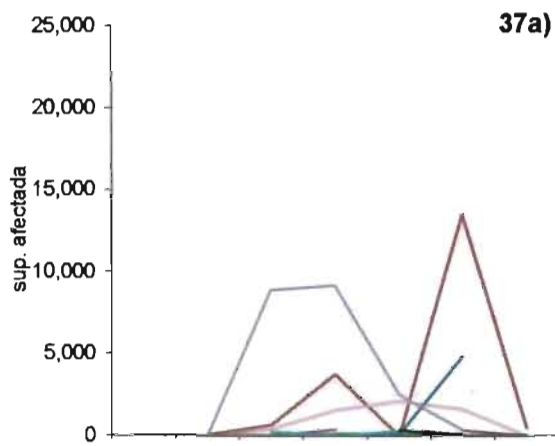


En el año 2002, del mes de enero al mes de junio se registraron 69,365.5 ha quemadas, la causa principal de los incendios para el mes de mayo (el mes más impactado) fueron las actividades agropecuarias con 17,926 ha quemadas, mientras que para marzo y abril la causa principal de los incendios no fue determinada y en ésta condición se registraron 4,315 y 4,578 ha quemadas respectivamente (Figura 37i). En abril donde la mayor parte de los incendios ocurrió, la causa principal originó 44 eventos y no pudo ser determinada, mientras que por las actividades agropecuarias se registraron 38 eventos, a la vez que los fumadores originaron 15 incendios en ese mes, (Figura 37j).

El año 2003 registró incendios de enero a junio, el total ascendió a 69,365.5, el mes de marzo el más afectado, registró en total 20,305 ha quemadas por causas que no fueron determinadas, la segunda causa más importante para los meses siguientes son las actividades agropecuarias con 10,618 ha quemadas en abril y 6,638 ha incendiadas en mayo (Figura 37k). Respecto al número de incendios marzo registra un número importante de eventos, a causa de los fumadores (20 eventos), y por actividades agropecuarias (22 incendios), para el mes siguiente la tendencia es la misma, por actividades agropecuarias hubo 22 incendios y con origen desconocido se reportaron 41 eventos (Figura 37l).

Estos resultados demuestran y confirman que la causa principal de los incendios son las actividades agropecuarias, en todas las gráficas de superficie afectada se puede observar que estas actividades determinan la distribución espacial de los incendios, ya que la localización de las igniciones ocurre donde se realizan actividades de clareo para la agricultura y el pastoreo. Mientras que el número de eventos indica que la superficie de cada incendio, causado por actividades agropecuarias, es mayor que la extensión de cualquier evento causado por cualquier otro factor; y que los incendios de los que no se sabe su causa son numerosos pero no son tan extensos como los anteriores

Los usos de suelo como la ganadería, extracción maderera y la agricultura incrementan las posibilidades de incendios (Cochrane, 2002). Esto ha sido observado en los resultados de este estudio y como se ha visto que lo que determinará la práctica de las quemas son principalmente las actividades agropecuarias que a su vez están condicionadas a los periodos de sequía. Esto se realiza con el fin de colaborar en el ciclo natural de los cultivos (maíz, frijol, alfalfa, coco y plátano principalmente) para ahorrar tiempo y adaptarse a la disponibilidad de recursos. El hecho de que la distribución espacial y temporal de los incendios esté condicionada al desarrollo de estas actividades indica que finalmente la intervención del ser humano se concreta a que ésta sea cada vez más intensa, que tanto la superficie afectada como el número de incendios sea aumentado extraordinariamente y que favorezca el desarrollo de los procesos de cambio de cobertura y de uso de suelo.

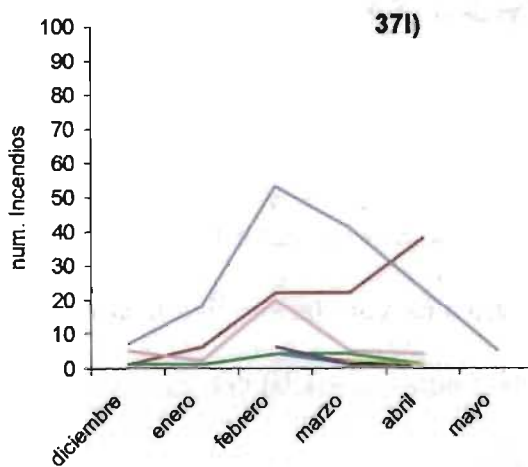
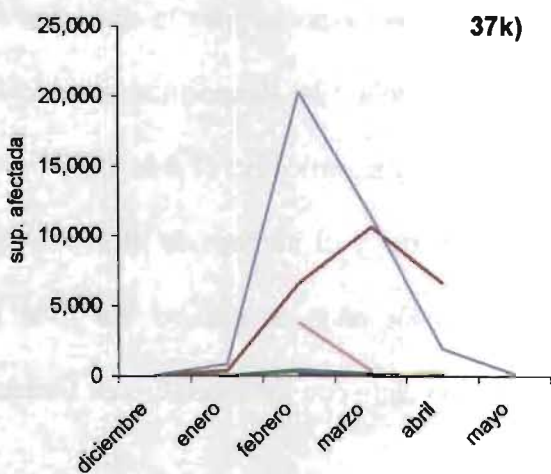
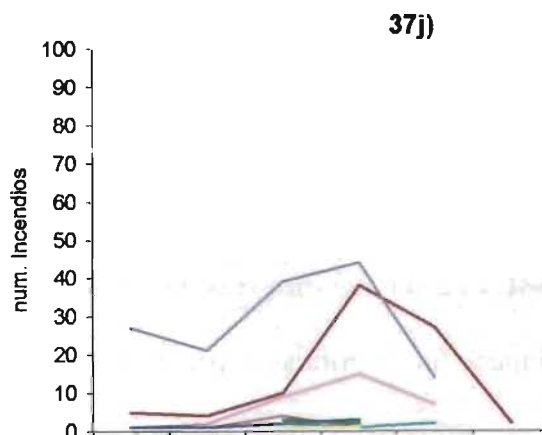
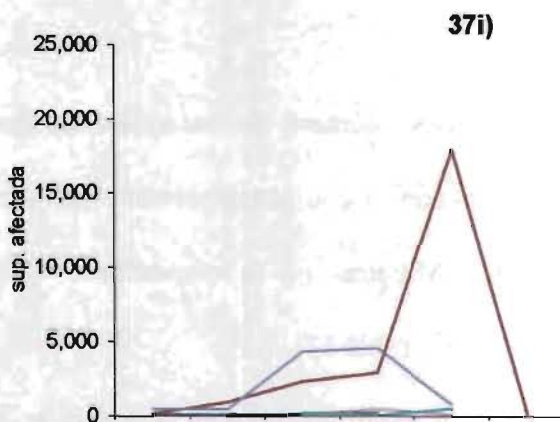
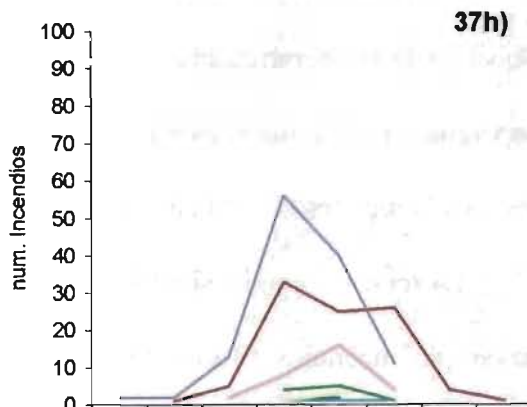
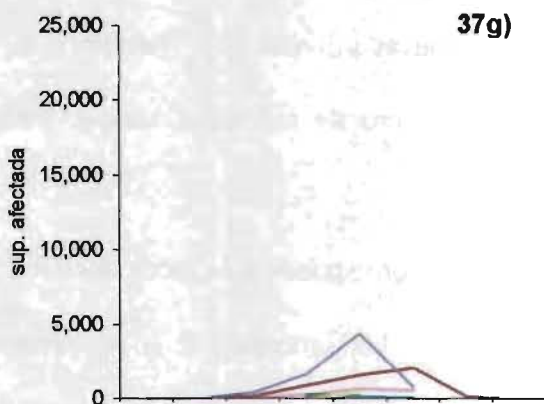


— act. Agrop (1)  
 — lim. der. Vía (4)  
 — Quema. Bas (7)  
 — aprov. Fores (10)  
 — cult ilic (13)  
 — s/c

— act. Forest (2)  
 — fumadores (5)  
 — litigios (8)  
 — caz furt (11)  
 — ferrocarni (14)

— act. Prod (3)  
 — Fog. Pas (6)  
 — rencillas (9)  
 — desc elec (12)  
 — no det (15)

- act. Agrop (1)
- lim. der. Via (4)
- Quema. Bas (7)
- aprov. Fores (10)
- cult ilíc (13)
- s/c
- act. Forest (2)
- fumadores (5)
- litigios (8)
- caz furt (11)
- ferrocami (14)
- act. Prod (3)
- Fog. Pas (6)
- rencillas (9)
- desc elec (12)
- no det (15)



**Figura 37. Superficie afectada y número de incendios por causa de 1998 al 2003. Figuras 33a y 37b) 1998, Figuras 33c y 37d) 1999, Figuras 33e y 37f) 2000, Figuras 33 y 37h) 2001, Figuras 33i y 37j) 2002, Figuras 33k y 37l) 2003.**

### **2.4.3 Relación entre número de incendios y anomalías climáticas**

En los Valles Centrales, la relación del número de incendios con la precipitación no fue muy significativa (Tabla 11). Por otro lado la dependencia del número de incendios respecto a la temperatura máxima en ésta región es marcada (Tabla 12). Mientras que, la temperatura media tiene cierta influencia sobre el número de incendios aunque menor todavía a la registrada con la precipitación (Tabla 13).

La relación menos significativa en la Sierra Sur corresponde a la precipitación y el número de incendios (Tabla 11). La subordinación de los incendios a la temperatura máxima fue significativa (Tabla 12), de la misma forma la temperatura media fue significativa para la aparición de incendios (Tabla 13).

En la región del Istmo la relación precipitación número de incendios no fue significativa (Tabla 11). La relación del número de incendios con la temperatura máxima, mostró no ser significativas en ésta región (Tabla 12). Mientras que la temperatura media tampoco fue determinante para la aparición de incendios. (Tabla 13).

En la región de la Mixteca la precipitación no fue determinante para la aparición de incendios (Tabla 11). La temperatura máxima tuvo un papel esencial para la aparición de incendios ya que el análisis estadístico lo demuestra (Tabla 12). Respecto a la relación temperatura media-número de incendios la relación fue muy significativa (Tabla 13).

La relación entre la temperatura superficial del mar y el número de incendios no mostró una correlación significativa para ninguno de los años de estudio. En total la temperatura superficial del mar mensual no tuvo relación clara con los incendios en Oaxaca (Tabla 14).

Las anomalías de precipitación no fueron determinantes para un decrecimiento o aumento en el riesgo de los incendios. Por otro lado, las anomalías de temperatura tuvieron

una relación más estrecha con la ignición de los incendios. Estos resultados difieren a lo reportado en la investigación de Pereira et al (2005) donde se indica que según los estudios realizados analizando las posibles conexiones entre el ENSO y el comportamiento de los incendios en EE.UU, las relaciones entre la actividad del fuego y los patrones de circulación de la atmósfera y la relación entre el área incendiada en Canadá con la temperatura superficial de mar (SST), se encontró que la precipitación es la que determina el riesgo de los incendios. En Oaxaca el factor temperatura fue el que más influyó en la cantidad de humedad contenida en el material combustible (vegetación) y determinó la extensión de cada evento, el retraso de las lluvias en algunos casos hizo que los eventos duraran mucho más tiempo pues el combustible se volvió cada vez más seco y flamable y cuando finalmente se presentaron los incendios ya se habían extendido extraordinariamente, por ejemplo los incendios ocurridos en 1998 en el Istmo. Este año de intensos fuegos fue el resultado de la extrema sequía en México, catalogada como uno de los efectos de *El Niño* (o ENSO, El Niño-Southern Oscillation) que implica eventos cíclicos de calentamiento del Océano Pacífico y sequía extrema en los Neo-tropicos (Eastmond y Faust, 2004).

Algunos estudios (Pausas, 2004) indican que si bien no se puede explicar el incremento del número de incendios, las condiciones climáticas pueden determinar la cantidad de área incendiada. Si las condiciones climáticas fueran húmedas, la carga de combustible seco disminuye, y por lo tanto la probabilidad de incendios, en cambio cuando los incendios ocurren en años secos habrá grandes zonas incendiadas en comparación con los años húmedos.

**Tabla 11. Regresión número de incendios-precipitación**

REGIÓN	F	P	r <sup>2</sup>
Valles Centrales	1.980	0.169	0.058
Sierra Sur	0.255	0.618	0.009
Istmo	0.072	0.791	0.003
Mixteca	0.006	0.940	0.000

**Tabla 12. Regresión número de incendios-temperatura máxima**

REGIÓN	F	P	r <sup>2</sup>
Valles Centrales	6.910	0.013	0.178
Sierra Sur	11.880	0.002	0.298
Istmo	2.160	0.152	0.072
Mixteca	32.040	0.000	0.543

**Tabla 13. Regresión número de incendios-temperatura media**

REGIÓN	F	P	r <sup>2</sup>
Valles Centrales	0.369	0.584	0.011
Sierra Sur	11.050	0.003	0.291
Istmo	0.414	0.525	0.015
Mixteca	18.090	0.000	0.401

**Tabla 14. Regresión número de incendios y oscilación de la temperatura superficial del mar.**

año	F	P	r <sup>2</sup>
1998	0.160	0.705	0.031
1999	3.540	0.133	0.470
2000	1.380	0.304	0.258
2001	0.060	0.802	0.011
2002	0.780	0.425	0.165
2003	0.160	0.705	0.072

## CONCLUSIONES

La superficie afectada y número de incendios en el estado de Oaxaca son las más notables a nivel nacional y registra oscilaciones marcadas que alteran su distribución espacial y temporal, esto lo convierte en un estado prioritario donde se deben proponer medidas para controlar los efectos de los incendios.

El comportamiento espacial de los incendios no fue heterogéneo, su tamaño fue variable pero se determinó que la mayor parte tienen de menos de 50 ha de superficie, sin embargo, existen eventos de gran magnitud que son más frecuentes en un año de sequía. En este sentido algunas regiones de Oaxaca son más vulnerables a que incendios de gran tamaño ocurran, en este caso el Istmo reporta la mayor densidad de incendios y el promedio mayor de superficie afectada por incendio. Otras regiones que sobresalieron tanto por frecuencia de incendios como de superficie afectada fueron los Valles Centrales y la Sierra Sur. El patrón de recurrencia de los incendios se puede observar mejor de 1999 al 2003 y demuestra que las regiones mencionadas son las que regularmente registran más eventos y más hectáreas incendiadas. Esto se debe probablemente al crecimiento de la población en estas regiones y a las actividades económicas que desarrolla.

Los niveles afectados fueron fundamentalmente arbustos y pastizales lo que indica que son incendios poco severos que se llevan a cabo para liberar nutrientes que sean captados por el suelo. Por otro lado el patrón de severidad de los incendios revela que los incendios superficiales son los más comunes, aunque también ocurren incendios de copa o al nivel del arbolado adulto que son los más severos y ocurren fundamentalmente en los periodos de sequía, son muy extensos y se localizan principalmente en la región Istmo, por lo que esta zona debe ser monitoreada con el fin de que se puedan prevenir este tipo de eventos. Por otro lado, los incendios de tipo mixto cobran importancia debido a que



probablemente el fuego se usa cada vez más como herramienta de clareo eliminando todo tipo de vegetación con el fin de abrir espacios para el pastoreo del ganado.

Los resultados revelaron que los ecosistemas templados fueron los más afectados por los incendios debido a la apertura para la introducción de la agricultura; y aunque están adaptados a ciclo de recurrencia natural del fuego sus niveles de superficie afectada y número de incendios ya tienen efectos graves en la composición y regeneración de estos paisajes. En contraste, la información referente a los bosques tropicales no ha sido suficiente para determinar de manera efectiva la magnitud de los incendios y sus efectos, los resultados indican que los incendios deben estar jugando un papel importante en los procesos de cambio de cobertura y de uso suelo en regiones como la Costa, donde se encuentran propiamente los paisajes de bosques tropicales. La importancia de las medidas de control de los incendios en estos bosques radica en que las implicaciones de cada evento son mucho más graves y sus efectos se perciben a largo plazo.

La dinámica temporal de los incendios está asociada al calendario de las actividades agropecuarias que se llevan a cabo en las diferentes regiones. La temporada de incendios en Oaxaca abarca los meses de Diciembre a Junio (periodo crítico de incendios se presenta fundamentalmente en marzo y abril), en este periodo los factores meteorológicos como la escasez de precipitación y la posterior aparición de los meses de lluvia, sumado a las condiciones específicas de la cobertura de cada región y los ciclos de crecimiento de los cultivos establecerán la distribución temporal de los incendios en los meses mencionados. Se esperaba que los resultados demostraran que la duración de la temporada de incendios fuera un indicador de la severidad de los incendios y de su magnitud, no obstante si la temporada comienza en diciembre o se prolonga hasta junio no tiene significado en la distribución espacial y temporal de los eventos.

El uso de los puntos de calor proporcionó detalle puntual de la distribución espacial y temporal de los eventos y grupos de vegetación más incendiados, así como la confirmación de la causa de los incendios, y en algunos casos reveló un comportamiento más peligroso de los incendios en ciertas regiones (p.e la Costa); sin embargo, hay que resaltar que el papel de la complementariedad entre estos datos y los proporcionados por Conafor es fundamental, ya que se pueden establecer la localización exacta de áreas prioritarias en base al tipo de vegetación afectado, el nivel incendiado, las causas, el tipo de los incendio, en meses como abril y mayo. En conclusión, los puntos de calor son una herramienta eficaz para determinar la distribución de los incendios en la medida que se puedan solucionar el aspecto de descripción de superficie incendiada, no solo en Oaxaca, también a nivel nacional. En ese mismo sentido la información generada por Conafor requiere de más precisión, pues aún quedan deficiencias como la falta de detalle respecto a la localización que probablemente sería solucionada con el apoyo de recursos económicos y la capacitación del personal encargado.

El análisis de la dinámica de los incendios demuestra que está determinada directamente por los factores humanos (actividades agropecuarias, la extracción forestal, los conflictos de tenencia de la tierra, etc), mientras que, las causas naturales prácticamente no tienen implicaciones. No obstante, que se ha sugerido que el calentamiento global es responsable del cambio en el régimen de incendios, los resultados de este trabajo sugieren que las variaciones climáticas no tuvieron un papel importante en el número de eventos pero amplificaron enormemente la superficie afectada. Y que los procesos sociales son tan importantes como los factores ecológicos del fuego para desarrollar estrategias de manejo y control de los incendios.

Se sugiere que la relación entre cambio de cobertura y uso de suelo y los incendios sea estudiada ampliamente con el fin de encontrar prácticas alternativas para sustituir a los sistemas tradicionales de roza, tumba y quema que todavía son ampliamente practicados y son la causa principal de los incendios.

Además deben ser consideradas las regiones Istmo y Costa como áreas prioritarias para la implementación de políticas de manejo y disminución de los incendios, pues es probable que vuelvan a suceder eventos de gran magnitud en la región del Istmo y que los procesos como la deforestación sean cada vez más acelerados y extensos en la Costa.



## REFERENCIAS

- Anderson, K., Martell, D., Flannigan, M.D., Wang, D. (2000) "*Modeling of fire occurrence in the boreal forest region of Canada*". Fire, Climate Change, and Carbon Cycling in the Boreal Forest. Ecological Studies Vol. 138, Springer. pp 357-367.
- Badia, A. (1998) "*Geografía e incendios forestales*". Serie Geográfica. Incendios. Vol 7. pp 139-145.
- Baker, W. (1993) "*Spatially heterogeneous multi-scale response of landscapes of fire suppression*". OIKOS 66. pp 66-71.
- Baker, W. (1995) "*Longterm response of disturbance landscapes to human intervention and global change*". Landscape Ecology Vol. 10 No. 3. pp 143-159.
- Baker, W.L. (2003) "*Fires and Climate in Forested Landscapes of the U.S. Rocky Mountains*". Fire and Climatic Change in Temperate Ecosystems of the Western Americas". Ecological Studies 160 Vol 160, Springer. pp 120-157.
- Barbosa, R.I., Fearnside, P.M. (2004) "*Fire frequency and area burned in the Rorsaima savannas of Brazilian Amazonia*". Forest Ecology and Management.
- Bassols, A. (1997) "*Recursos Naturales de México. Teoría conocimiento y uso*". Editorial Nuestro Tiempo, México, 356 pp.
- Binkley, D., (Reporteur) (1993) "*Group report: Impacts of fires on ecosystems*". Fire in the environment: The ecological, atmospheric, and climatic importance of vegetation fires.
- Bourgeau-Chavez, L., Alexander, M.E., Stocks, B.J., Kasischke, E.S. (2000) "*Distribution of forest ecosystems and the role of fire in the North American boreal region*". Fire, Climate Change, and Carbon Cycling in the Boreal Forest. Ecological Studies Vol. 138, Springer. pp 111-131.
- Cardoso, M.J., Vera, M.C., Nepstad, D., Seroa, R., Alentar, A., Gomes, J.C., Arigoni, R. (2004) "*The economic cost of the use of fire in the Amazon*". Ecological Economics 49 pp 89-105.
- Centro Nacional de Prevención de Desastres (Cenapred). (1999) "*Incendios Forestales*". Secretaría de Gobernación. Serie Fascículos 35 pp.
- Centro Nacional de Prevención de Desastres (Cenapred). (2001) "*Diagnóstico de Peligros e Identificación de Riesgos de Desastres en México. Atlas Nacional de Riesgos de la República Mexicana*". Secretaría de Gobernación pp 225
- Christensen, N., Agee, J.K., Brussard, P.F., Hughes, J., Knight, D., Minshall, G.W., Peek, J., Pyne, S., Swanson, F.J., Thomas, J.W., Wells, S., Williams, S., Wright, H.A. (1989) "*Interpreting the Yellowstone Fires of 1988. Ecosystems responses and management implications*". Bioscience; Nov 1989; 39, 10 p 678.
- Christensen, N.L. (1993) "*Fire Regimes and ecosystem*". Fire in the environment: The ecological, atmospheric, and climatic importance of vegetation fires.
- Chuvieco, E., Martín, M.P., Martínez, J., Salas, F.J. (1998) "*Geografía e incendios forestales*". Serie Geográfica. Incendios. Vol 7. pp 11-17.
- Cochrane, Mark A. (2002) "*Se extiende como un reguero de pólvora, incendios en bosques tropicales en América Latina y el Caribe: prevención, evaluación y alerta temprana*". Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente. 109 pp.
- INEGI (2000), "*Conjunto de datos vectoriales de uso de suelo y vegetación*" escala 1:250,000

- De la Riva, J., Pérez-Cabello, F., Lana-Renault, N., Koutsias, N. (2004) "*Mapping wildfire occurrence at regional scale*". Remote Sensing Environment 92. pp 288-294.
- Dwire, K.A., Kauffman, J.B. (2003) "*Fire and riparian ecosystems in landscapes of the western USA*". Forest Ecology and Management 178 pp 61-74.
- Eastmond, A., Faust, B. (2004) "*Farmers, fires and forests: a green alternative to shifting cultivation for conservation of maya forest?*". Landscape and Urban Planning. Article in press.
- Everett, R., Calvo, E., Pons, X., Díaz-Delgado, R. (2000) "*Fire history in the Ponderosa pine/Douglas-fir forests on the east slope of the Washington Cascades*". Forest Ecology and Management 129 pp 207-225.
- Enciclopedia SALVAT. Diccionario (1980) Salvat Editores. Barcelona España, Tomo 10.
- Flannigan, M.D., Stocks, B.J., Wotton, B.M. (2000) "*Climate change and forest fires*". The Science of the Total Environment 262 pp 221-229.
- Forman, R., Godron, M. (1986) "*Landscape Ecology*". John Wiley & Sons, Canada. 619 pp.
- Fuller, M. (1991) "*The effects of fire on Ecosystems*". Forest Fires. Wiley Nature Editions pp 87-93.
- Gustafson, E.J., Zollner, P.A., Sturtevant, B.R., He, H.S., Mladenoff, D.J. (2004) "*Influence of forest management alternatives and land type on susceptibility to fire in northern Wisconsin, USA*". Landscape Ecology 19: pp 327-341
- He, H., Mladenoff, D., Gustafson, E. (2002) "*Study of landscape change under forest harvesting and climate warming-induced fire disturbance*". Forest Ecology and Management 155. pp 257-270.
- Hicke, J. (2003) "*Postfire reponse of north american boreal forest net primary productivity analized with satellite observations*". Global Change Biology 9. pp 1145-1157.
- Holmgren, M., Scheffer, M., Ezcurra, E., Gutiérrez, J.R., Mohren, G.M.J. (2001) "*El niño effects on the dynamics of terrestrial ecosystems*". Trends in Ecology & Evolution Vol. 16 No. 2. pp 89-94
- Hudak, A., Fairbanks, D., Brockett, B. (2004) "*Trends in fire patterns in southern African savanna under alternative land use practices*". Agriculture Ecosystems & Environment 101 pp 307-325.
- Jardel, E.J., Ramírez-Villeda, E., Castillo-Navarro, F., Balcázar, O.E. (2003) "*Fire Management and restoration plan in the sierra de Manantlán biosphere reserve, México*". 5<sup>th</sup> Symposium on Fire Ecology and Fire Management Congress. 2<sup>nd</sup> International Wildland Fire Ecology and Fire Management Congress.
- Kasischke, E.S., French, N.H.F., O'Neill, P.O., Richter, D.D., Bourgeau-Chavez, L., Harrell, P.A. (2000) "*Influence of fire on long-term patterns of forest succession in Alaska boreal forests.*" Fire, Climate Change, and Carbon Cycling in the Boreal Forest. Ecological Studies Vol. 138, Springer. pp 215-235.
- Kauffman, J.B., Steele, M.D., Cummings, D.L., Jaramillo, V.J (2003) "*Biomass dynamics associated with deforestation, fire, and, conversion to cattle pasture in a Mexican tropical dry forest*". Forest Ecology and Management 176. pp 1-12.
- Kushla, J., Ripple, W.J. (1997) "*The role of terrain in a fire mosaic of a temperate coniferous forest*". Forest Ecology and Management 95. pp 97-107.
- Larsen, C. (1997) "*Spatial and temporal variations in boreal forest fire frequency in northern Alberta*". Journal of Biogeography 24. pp 663-673.

- Lloret, F., Calvo, E., Pons, X., Díaz-Delgado, R. (2002) "*Wildfires and landscape patterns in the Eastern Iberian Peninsula*". *Landscape Ecology* 17. pp 745-759.
- Metzger, J.P. (2003) "*Effects of slash-and-burn fallow periods on landscape structure*". *Environmental Conservation*. 30 (4). pp 325-333.
- Myers, R. (2004) "Regímenes de fuego y conservación de la biodiversidad". [En línea] <http://www.imades.org>
- Niklasson, M., Granström, A. (2000) "*Numbers and sizes of fires: long-term spatially explicit fire history in a Swedish boreal landscape*". *Ecology* 81. pp 1484-1499.
- Odion, D.C., Frost, E.J., Stritholt, J.R., Jiang, H., Dellasala, D.A., Moritz, M.A. (2004) "*Patterns of fire Severity and Forest Conditions in the Western Klamath Mountains, California*". *Conservation Biology* Vol 18 No 4 pp 927-936.
- Palacio, J., Luna, L., y Macías, L. (1999) "*Detección de incendios en México utilizando imágenes AVHRR (temporada 1998)*". *Investigaciones Geográficas Boletín* 38. pp 7-14.
- Pausas, J.G. (2004) "*Changes in Fire and climate in the eastern Iberian Peninsula (Mediterranean Basin)*". *Climate Change* 63: pp 337-350.
- Peterson, G. (2002) "*Contagious disturbance, ecological Memory, and the emergence of landscape pattern*". *Ecosystems* 5. pp 329-338.
- Piñol, J., Terradas, J. Lloret, F. (1998) "*Climate Warming, Wildfire Hazard, and Wildfire Occurrence in Coastal Eastern Spain*". *Climate Change* 38. pp 345-357.
- Quadri de la T., G (2005) "*Incendios forestales y deforestación en México: Una perspectiva analítica*". [En línea] <http://www.cce.org.mx/>
- Rodríguez, D., Fulé, P. (2003) "*Fire ecology of mexican pines and fire management proposal*". *International Journal of Wildland Fire* 12. pp 1-15.
- Román-Cuesta, R.M. (2002) "*Human and environmental factors influencing fire trends in different forest ecosystems*". Universidad Autónoma de Barcelona. Tesis de Doctorado pp 122.
- Roman-Cuesta, R.M., Retana, J., Gracia, M. (2004) "*Fire Trends in Tropical Mexico. A Case of Study Chiapas*". *Journal of Forestry*; Jan/Feb 2004; 102, 1; Career and Technical Education pp 26.
- Romme, W., Everham, E.H., Frelich, L.E., Moritz, M.A., Sparks, R.E. (1998) "*Are large, infrequent disturbances qualitatively different from small, frequent disturbances?*" *Ecosystems* pp 524-534.
- Russell, W.H., McBride, J.R. (2003) "*Landscape scale vegetation-type conversion and fire hazard in the San Francisco bay area open spaces*". *Landscape and Urban Planning* 64. pp 201-208.
- Sánchez, A. (2001) "*Conservación Biológica de México. Perspectivas*". Universidad Autónoma de Chapingo. Colección de Cuadernos Universitarios. México. pp 136.
- Schoennagel, T., Veblen, T.T., Romme, W.H. (2004) "*The Interaction of Fire, Fuels, and Climate across Rocky Mountain Forests*". *Bioscience* Vol 54 No. pp 661-676.
- Sharma, S., Rikhari, H. (1997) "*Forest fire in the central Himalaya: climate and recovery of trees*". *International Journal Bometerology* 40. pp 63-70.
- Shvidenko, A., Nilsson, S. (2000) "*Extent, Distribution, and ecological role of fire in Russian forest*". *Fire, Climate Change, and Carbon Cycling in the Boreal Forest. Ecological Studies* Vol. 138, Springer. pp 133-150.
- Stolle, F., Lambin, E.F. (2003) "*Interprovincial and interannual differences in the causes of land-use fires in Sumatra, Indonesia*". *Environmental Conservation* 30. pp 375-387.

- Suyanto, S., G. Applegate, R. P. Permana, N. Khususiyah, and I. Kurniawan. (2004). *"The role of fire in changing land use and livelihoods in Riau-Sumatra"*. Ecology and Society 9(1): 15. [online] URL: <http://www.ecologyandsociety.org/vol9/iss1/art15>
- Tilman, D. (2000) *"Fire suppression and ecosystem carbon storage"*. Ecology 81. pp 2680-2685.
- Turner, M.G., Romme, W.H., Gardner, R.H., Hargrove, W.W. (1997) *"Effects of fire size and pattern on early succession Yellowstone National Park"*. Ecological Monographs 67. pp 411-433.
- Turner, M.G., Collins, S.L., Lugo, A.L., Magnuson, J.J., Rupp, T.S., Swanson, F.J. (2003) *"Disturbance Dynamics and Ecological Response: The Contribution of Long-Term Ecological Research"*. Bioscience January 2003/Vol.53 No.1 pp 46-56.
- Turner, M.G., Gardner, R.H., O'Neill, R.V. (2001) *"Landscape Ecology in Theory and Practice. Pattern and Process"*. New York, Springer, 401 pp
- Uys, R.G., Bond, W.J., Everson, T.M. (2004) *"The effect of different fire regimes on plant diversity in southern African grasslands"*. Biological Conservation 118 pp 489-499.
- Vázquez, A., Moreno, J.M. (2001) *"Spatial distribution of forest in Sierra de Gredos (Central Spain)"*. Forest Ecology and Management 147 pp 55-65.
- Velázquez, A., Durán, E., Ramírez, I., Mas, J.F., Bocco, G., Ramírez, G., Palacio, J.L. (2003) *"Land use-cover change processes in highly biodiverse areas: the case of Oaxaca, Mexico"*. Global Environmental Change 13 pp 175-184
- Villers, L., López, J. (2004) *"Incendios Forestales en México. Métodos de evaluación"* Universidad Nacional Autónoma de México. Centro de Ciencias de la Atmósfera. 165 pp.
- Weisberg, P.J., Swanson, F.J. (2003) *"Regional synchronicity in fire regimes of western Oregon and Washington, USA"*. Forest Ecology and Management 172 PP 17-28.
- Wells, M.L., Oleary, J.F., Franklin, J. Michaelsen, J. McKinsey, D.E. (2004) *"Variations in regional fire regime related to vegetation type in San Diego County, California (USA)"*. Landscape Ecology 19: pp 139-152.

#### **Páginas de Internet**

- [www.conabio.gob.mx](http://www.conabio.gob.mx)
- [www.inegi.gob.mx](http://www.inegi.gob.mx)
- [www.semarnat.gob.mx](http://www.semarnat.gob.mx)
- <http://www.jornada.unam.mx/2005/may05/050508/033n2est.php>