



U N I V E R S I D A D N A C I O N A L
A U T Ó N O M A D E M É X I C O

Facultad de Filosofía y Letras
Posgrado en Geografía

**“Análisis del efecto de El Niño sobre
los mega-incendios en México”**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRA EN GEOGRAFÍA

P R E S E N T A :

LAURA MERIT GONZÁLEZ RAMÍREZ

Director de Tesis: Dr. LEOPOLDO GALICIA SARMIENTO

México D. F.

2008



Universidad Nacional
Autónoma de México



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.

Dedicó este trabajo a Socorro (mamá gracias por todo lo q me has enseñado, te amo), Sinuhé, Javier, Rosalía, Edgar y Remigio, porque siempre están presentes y como lo mío no es mío sí solo es mío, esto es de ustedes. Gracias a Rosalba, Emilio y Yuría por su afecto y cariño, los quiero mucho.

Gracias Rafael por alegrarme siempre al mediodía, orgullosa me siento de tí como tu de mí, Gracias por acompañarme, gracias por dejarte acompañar. Te amo.

Gracias a todos los miembros del cubil felino, especialmente a Ely M., Richard L. y Edgardo V. Muchas gracias a Huguete L., Alma M., Ana G., Roger C. Celia F. y Arturo C., por ayudarme a pulir este trabajo; gracias todos por el espacio (geográfico) y tiempo compartidos.

A Guadalupe, Nayelli, Orlando, y Ara les agradezco infinitamente su amistad.
Gracias muchachosiiii

Gracias a la Chispa, la Lilu y la Pecas, seres no humanos pero no por eso menos significativos.

Gracias al poder superior que me permite contar con el amor y amistad de todos estos seres.

Gracias al Dr. Leopoldo Galicia por el tiempo dedicado a este trabajo, gracias por las múltiples revisiones y observaciones con las cuales esta tesis fue definida. Gracias por guiarme, mostrarme el campo de la investigación, ayudarme a cumplir mis metas. Gracias por la libertad otorgada para desarrollar y expresar mis conocimientos en este trabajo.

Gracias a la Dra. Leticia Gómez por su ayuda en todos los aspectos de esta tesis, gracias por tu asesoría, amistad y más que nada, gracias por tu tiempo.

Gracias al Dr. Miguel Cortez†, quien me dio nuevos bríos cuando más lo necesité, me demostró que puedo seguir en este camino y que siempre existirá alguien con amor a su profesión.

Gracias a Dr. Leopoldo Galicia, Dra. Leticia Gómez, Dr. José Luis Palacio, Dra. Lilia Manzo y Dra. Ma. Engracia Martínez por aceptar ser miembros del sínodo y por sus valiosos y enriquecedores comentarios.

Gracias a las oficinas de Conafor en Chiapas, Chihuahua, Oaxaca, Durango y Tamaulipas, especialmente a la división de Incendios Forestales, gracias al personal de detección y combate de incendios, sepan que su labor es necesaria y valorada.

Gracias al CONACYT por el apoyo otorgado durante dos años para llevar a cabo esta tesis.

Gracias al posgrado en Geografía y al proyecto “Modelado espacial de los conductores Sociales, económicos y biofísicos de la deforestación y la fragmentación en la Selva Baja caducifolia del Pacífico Mexicano” DGAPA PAPIIT (305606), por el apoyo otorgado para realizar esta investigación y para exponer los resultados preliminares en la IV Conferencia internacional de incendios forestales en Sevilla, España; publicados en las memorias del evento [González-Ramírez, L.M (2007). El efecto de El Niño (ENSO) en la presencia de incendios forestales extremos. Memorias de la IV Conferencia Internacional de Incendios forestales. Sevilla, España.]

Gracias a la Conabio, al Sistema Meteorológico Nacional y a la Conafor por innovar en el tema de incendios en México.

Gracias a la Facultad de Filosofía y Letras y al Instituto de Geografía por todo el apoyo otorgado (computadoras, cubículo, biblioteca, clases) para la realización esta investigación.

INDICE

RESUMEN.	1
1. INTRODUCCIÓN.	2
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.	3
3. MARCO TEÓRICO.	5
3.1 INCENDIOS FORESTALES: ORIGEN Y CAUSAS.	5
3.2 INCENDIOS FORESTALES Y EL CLIMA.	7
3.2.1 <i>La señal de El Niño en invierno.</i>	9
3.2.2 <i>La señal de El Niño en verano.</i>	10
3.3 LA DINÁMICA DE LOS INCENDIOS Y SU RELACIÓN CON <i>EL NIÑO-OSCILACIÓN DEL SUR.</i>	11
3.4 LOS INCENDIOS EXTREMOS O MEGA-INCENDIOS.	14
4. OBJETIVOS.	17
4.1 OBJETIVO GENERAL.	17
4.2 OBJETIVOS PARTICULARES.	17
5. MÉTODOS.	18
5.1 SITIO DE ESTUDIO.	18
5.2 DATOS DE INCENDIOS.	20
5.3 DATOS DE PRECIPITACIÓN Y TEMPERATURA.	21
6. RESULTADOS.	29
6.1 SUPERFICIE INCENDIADA FRECUENCIA DE INCENDIOS EN EL PERIODO 1998-2006.	29
6.2 MEGA-INCENDIOS EN CHIAPAS, OAXACA, CHIHUAHUA, DURANGO Y TAMAULIPAS EN EL PERIODO 1998-2006.	31
6.2.1 <i>Frecuencia anual de mega-incendios por estado.</i>	32
6.2.2 <i>Distribución estacional de los mega-incendios.</i>	33
6.2.3 <i>Tamaño promedio, máximo y mínimo de los mega-incendios.</i>	33
6.2.4 <i>Causas de los mega-incendios.</i>	35
6.2.5 <i>Tipo de vegetación y uso de suelo afectado.</i>	36
6.3 ANÁLISIS DE PRECIPITACIÓN.	45
6.3.1 <i>Periodo Húmedo Previo.</i>	45
6.3.2 <i>Periodo Seco.</i>	46
6.3.3 <i>Periodo Seco 2.</i>	48
6.3.4 <i>Retraso de la temporada de lluvias.</i>	49
6.3.5 <i>Frecuencia de mega-incendios y anomalías de precipitación</i>	51
6.4 ANÁLISIS DE TEMPERATURA.	53
6.4.1 <i>Frecuencia de mega-incendios y anomalías de temperatura.</i>	53
6.5 SINCRONIZACIÓN EN LA PRESENCIA DE ANOMALÍAS DE PRECIPITACIÓN Y TEMPERATURA.	55
6.6 ANÁLISIS DE MEGA-INCENDIOS EN OAXACA Y TAMAULIPAS.	57
7. DISCUSIÓN.	60
7.1 VARIABILIDAD REGIONAL DE LA SUPERFICIE INCENDIADA.	61
7.2 VARIABILIDAD REGIONAL DE LA FRECUENCIA DE LOS INCENDIOS.	62
7.3 TAMAÑO DE LOS INCENDIOS.	62
7.4 TIPO DE VEGETACIÓN AFECTADO POR LOS MEGA-INCENDIOS.	66
7.5 EFECTOS CLIMÁTICOS SOBRE LOS MEGA-INCENDIOS.	68
7.6 EL EFECTO DE <i>EL NIÑO</i> SOBRE LOS MEGA-INCENDIOS.	71
7.7 ORIGEN DE LOS MEGA-INCENDIOS EN AÑOS SIN <i>EL NIÑO.</i>	73
7.8 DISPONIBILIDAD DE LA INFORMACIÓN SOBRE MEGA-INCENDIOS.	74
8. CONCLUSIONES.	76
REFERENCIAS.	78

Índice de figuras

<u>Figura 1. Anomalías de temperatura en la superficie del mar del Océano Pacífico. Fecha 8 de Febrero de 1998.</u>	9
<u>Figura 2. Anomalías de precipitación (mm/día) durante el evento de El Niño de 1997-98. Fuente: Magaña, 1999.</u>	10
<u>Figura 3. Diagrama de los impactos de El Niño en el clima de verano en México. Fuente: Magaña, 1999.</u>	11
<u>Figura 4. Superficie incendiada anual de 1970 al 2006. Fuente: Conafor, 2004a.</u>	13
<u>Figura 5. Localización de los cinco estados incluidos en el estudio</u>	18
<u>Figura 6. Ubicación espacial de los mega-incendios.</u>	21
<u>Figura 7. Bases de datos utilizadas para analizar la precipitación y temperatura.</u>	22
<u>Figura 8. Ejemplo de los meses incluidos en cada periodo de lluvia analizado. El sombreado indica el periodo de ocurrencia de incendios.</u>	23
<u>Figura 9. Localización de los cinco estados incluidos en el estudio</u>	24
<u>Figura 10. Cálculo de las fechas de inicio de los periodos húmedos y secos promedio.</u>	25
<u>Figura 11. Cálculo de los acumulados de lluvia en el PHP, PS y PS2.</u>	25
<u>Figura 12. Clasificación de los acumulados según los deciles.</u>	26
<u>Figura 13. Cálculo de las anomalías de precipitación y temperatura.</u>	27
<u>Figura 14. Superficie afectada por año en cada estado analizado. Las flechas señalan los años de El Niño. Las flechas señalan los años de El Niño. Las flechas indican los años con presencia de El Niño.</u>	29
<u>Figura 15. Número de incendios por año en cada estado analizado. Las flechas señalan los años de El Niño. Las flechas indican los años con presencia de El Niño.</u>	30
<u>Figura 16. Frecuencia por categorías de superficie (has.), en los cinco estados analizados de 1998 al 2006.</u>	31
<u>Figura 17. Distribución temporal de los mega-incendios por mes en cada uno de los estados analizados.</u>	33
<u>Figura 18. Tamaño promedio de los incendios en cada uno de los estados analizados.</u>	34
<u>Figura 19. Tamaño máximo de los incendios en cada estado analizado. Periodo 1998-2006.</u>	34
<u>Figura 20. Número de incendios en el sur por causa. 1. actividades agropecuarias, 2. Actividades forestales, 3. Actividades forestales, 4. Limpia por derechos de vía, 5. Fumadores, 6. Fogatas, 7. Quema de basura, 8. Litigios, 9. Rencillas, 10. Aprovechamiento forestal, 11. Cacería furtiva, 12. Descargas eléctricas, 13. Cultivos ilícitos, 14. Ferrocarril, 15. Causas no determinadas. Fuente: Conafor, 2007.</u>	35
<u>Figura 21. Número de incendios en el norte por causa. 1. actividades agropecuarias, 2. Actividades forestales, 3. Actividades forestales, 4. Limpia por derechos de vía, 5. Fumadores, 6. Fogatas, 7. Quema de basura, 8. Litigios, 9. Rencillas, 10. Aprovechamiento forestal, 11. Cacería furtiva, 12. Descargas eléctricas, 13. Cultivos ilícitos, 14. Ferrocarril, 15. Causas no determinadas. Fuente: Conafor, 2007.</u>	35
<u>Figura 22. Número de mega-incendios en el sur (Chiapas y Oaxaca) por tipo de vegetación. 1. Bosque de pino, 2. Bosque de encino, 3. Bosque de pino-encino, 4. Bosque de encino-pino, 5. Bosque mesófilo de montaña, 6. Matorral xerófilo, 7. Zona agrícola y pecuaria, 8. Pastizal, 9. Selva alta y mediana perennifolia, 10. Selva baja caducifolia.</u>	37
<u>Figura 23. Número de mega-incendios en el norte (Chihuahua, Durango y Tamaulipas) por tipo de vegetación. 1. Bosque de pino, 2. Bosque de encino, 3. Bosque de pino-encino, 4. Bosque de encino-pino, 5. Bosque mesófilo de montaña, 6. Matorral xerófilo, 7. Zona agrícola y pecuaria, 8. Pastizal, 9. Selva alta y mediana perennifolia, 10. Selva baja caducifolia</u>	40
<u>Figura 24. Frecuencia de PHP por deciles, en el sur (Chiapas y Oaxaca). Cada periodo se localiza en un decil según la lluvia acumulada, el decil indica si los periodos se presentaron con déficit (1, 2 y 3), normal (4, 5, 6 y 7) y superávit (8, 9 y 10). Cada periodo corresponde a un sitio donde ocurrió un mega-incendio. Las flechas indican los años con presencia de El Niño.</u>	45
<u>Figura 25. Frecuencia de PHP por deciles, en el norte (Chihuahua, Durango y Tamaulipas). Cada periodo se localiza en un decil según la lluvia acumulada, el decil indica si los periodos se presentaron con déficit (1, 2 y 3), normal (4, 5, 6 y 7) y superávit (8, 9 y 10). Cada periodo corresponde a un sitio donde ocurrió un mega-incendio. Las flechas indican los años con presencia de El Niño.</u>	46
<u>Figura 26. Frecuencia de PS por deciles, en el sur (Chiapas y Oaxaca). Cada periodo se localiza en un decil según la lluvia acumulada, el decil indica si los periodos se presentaron con déficit (1, 2 y 3), normal (4, 5, 6 y 7) y superávit (8, 9 y 10). Cada periodo corresponde a un sitio donde ocurrió un mega-incendio. Las flechas indican los años con presencia de El Niño.</u>	47
<u>Figura 27. Frecuencia de PS por deciles, en el norte (Chihuahua, Durango y Tamaulipas). Cada periodo se localiza en un decil según la lluvia acumulada, el decil indica si los periodos se presentaron con déficit (1, 2 y 3), normal (4, 5, 6 y 7) y superávit (8, 9 y 10). Cada periodo corresponde a un sitio donde ocurrió un mega-incendio. Las flechas indican los años con presencia de El Niño.</u>	47

Figura 28. Frecuencia de PS2 por deciles, en el sur (Chiapas y Oaxaca). Cada periodo se localiza en un decil según la lluvia acumulada, el decil indica si los periodos se presentaron con déficit (1, 2 y 3), normal (4, 5, 6 y 7) y superávit (8, 9 y 10). Cada periodo corresponde a un sitio donde ocurrió un mega-incendio. Las flechas indican los años con presencia de El Niño.	48
Figura 29. Frecuencia de PS2 por deciles, en el norte (Chihuahua, Durango y Tamaulipas). Cada periodo se localiza en un decil según la lluvia acumulada, el decil indica si los periodos se presentaron con déficit (1, 2 y 3), normal (4, 5, 6 y 7) y superávit (8, 9 y 10). Cada periodo corresponde a un sitio donde ocurrió un mega-incendio. Las flechas indican los años con presencia de El Niño.	49
Figura 30. Frecuencia de sitios (donde ocurrieron mega-incendios) por categoría de días de retraso de las lluvias, en el sur (Chiapas y Oaxaca). Las flechas indican los años con presencia de El Niño.	50
Figura 31. Frecuencia de sitios (donde ocurrieron mega-incendios) por categoría de días de retraso de las lluvias, en el norte (Chihuahua, Durango y Tamaulipas). Las flechas indican los años con presencia de El Niño.	50
Figura 32. Frecuencia de sitios (con mega-incendios) por categorías de días con anomalías negativas de precipitación, en el sur (Oaxaca y Chiapas). Las flechas indican los años con presencia de El Niño.	51
Figura 33. Frecuencia de sitios (con mega-incendios) por categorías de días con anomalías negativas de precipitación, en el norte (Chihuahua, Durango y Tamaulipas). Las flechas indican los años con presencia de El Niño.	52
Figura 34. Frecuencia de sitios (con mega-incendios) por categorías de días con anomalías positivas de temperatura, en el sur (Oaxaca y Chiapas). Las flechas indican los años con presencia de El Niño.	53
Figura 35. Frecuencia de sitios (con mega-incendios) por categorías de días con anomalías positivas de temperatura, en el norte (Chihuahua, Durango y Tamaulipas). Las flechas indican los años con presencia de El Niño.	54
Figura 36. Frecuencia sitios (con mega-incendios) con sincronización de anomalías (precipitación y temperatura). Se contabilizan los mega-incendios del sur (Chiapas y Oaxaca) con sincronización o sin ella, y si no hubo, se especifica que tipo de anomalías si se presentaron; además se contabilizan los casos donde ninguna de las dos se presentó. Las flechas indican los años con presencia de El Niño.	55
Figura 37. Frecuencia sitios (con mega-incendios) con sincronización de anomalías (precipitación y temperatura). Se contabilizan los mega-incendios del norte (Chihuahua, Durango y Tamaulipas) con sincronización o sin ella, y si no hubo, se especifica que tipo de anomalías si se presentaron; además se contabilizan los casos donde ninguna de las dos se presentó. Las flechas indican los años con presencia de El Niño.	56
Figura 38. Día del inicio de las lluvias promedio y fecha de inicio de lluvias en 1998 para cada lugar donde ocurrió un evento extremo en Oaxaca. Identificador (ID).	57
Figura 39. Lluvia acumulada de enero a mayo de 1998 (x) y superficie afectada por incendio extremo (y) en Oaxaca.	58
Figura 40. Día del inicio de las lluvias promedio y fecha de inicio de lluvias en 1998 para cada lugar donde ocurrió un evento extremo en Tamaulipas. Identificador (ID).	58
Figura 41. Lluvia acumulada de enero a mayo de 1998 (x) y superficie afectada por incendio extremo (y) en Tamaulipas.	59
Figura 42. Mapa conceptual del desarrollo de los mega-incendios La línea punteada indica los elementos que fueron cuantificados en esta investigación.	66

Índice de tablas

Tabla 1. Categoría de severidad de los periodos secos	26
Tabla 2. Años de El Niño (sombra clara), La Niña (sombra oscura) y neutrales (blanco) en el período 1997-2006.	28
Tabla 3. Mega-incendios.	32
Tabla 4. Distribución anual de los mega-incendios por estado.	33

Índice de mapas

Mapa 1. Distribución espacial y temporal de los incendios en Chiapas.	38
Mapa 2. Distribución espacial y temporal de los incendios en Oaxaca.	39
Mapa 3. Distribución espacial y temporal de los incendios en Chihuahua.	40
Mapa 4. Distribución espacial y temporal de los incendios en Durango.	41
Mapa 5. Distribución espacial y temporal de los incendios en Tamaulipas.	42

Resumen.

Los incendios de 1998 en México sumaron 14,445 eventos y afectaron 849,000 hectáreas, a partir de ese año se observó que en México, las temporadas más severas de incendios forestales coinciden con eventos de *El Niño* intenso. La literatura reporta que *El Niño-Oscilación del Sur* induce las condiciones climatológicas y atmosféricas (baja precipitación y alta temperatura) necesarias para la acumulación de material combustible que provocan la amplia propagación del fuego.

En este trabajo, se sugiere que en México el origen de los mega-incendios está vinculado a la presencia de *El Niño*. Para determinar la relación de este fenómeno con los incendios más extensos, se determinó la distribución espacial y temporal de los eventos de más de 1,000 ha. o mega-incendios (con datos de la Comisión Nacional Forestal) ocurridos de 1998 al 2006 en estados del norte y sur. Después se analizó el comportamiento de la precipitación y la temperatura (con datos del Servicio Meteorológico Nacional) en los sitios donde ocurrieron los mega-incendios (por medio de los acumulados de lluvia, las anomalías de precipitación negativa, los retrasos en la temporada de lluvias y las anomalías de temperatura positivas). Finalmente, se relacionaron estos aspectos con el comportamiento de los mega-incendios en años de *El Niño* intenso, *La Niña* y años normales para dicho periodo.

Los mega-incendios son más frecuentes en el sur del país cuando *El Niño* intenso favorece la gran acumulación de material combustible en bosques tropicales y templados. En contraste, al norte los mega-incendios son casi inexistentes en años de *El Niño* débil, pero cuando este fenómeno se torna intenso y sus efectos se manifiestan en casi todo el país, los mega-incendios se incrementan. En México el uso de fuego en la agricultura es la causa principal de los mega-incendios, sin embargo, su extensión está determinada por los factores del clima y del tiempo atmosférico. Este estudio sugiere que las condiciones climáticas y atmosféricas de enero a marzo son las más importantes para determinar la cantidad de combustible disponible y por tanto la extensión de los mega-incendios. En conclusión no obstante que, *El Niño* aumenta el riesgo de mega-incendios, es necesario un análisis más detallado para explicar la presencia de este tipo de eventos en años sin la presencia de *El Niño*. Con este estudio se contribuye a la elaboración de políticas nacionales, como el manejo de combustibles y el control de las quemadas agropecuarias, que sirvan para disminuir los graves efectos de los mega-incendios.

Palabras clave: mega-incendios, *El Niño-Oscilación del Sur*, clima.

1. Introducción.

El fuego es un fenómeno que surge de la relación de los factores bióticos (p.e vegetación) y abióticos (p.e topografía) del ecosistema, se requiere de un combustible adecuado y es provocado muchas veces por el ser humano, mediante la agricultura, la explotación forestal y la urbanización (Turner *et al.*, 2001; Burel y Baudry, 2002). El comportamiento y las características del fuego están en función del clima, vegetación y actividades humanas predominantes (FAO, 2006). Estudios recientes indican que agentes como el cambio climático, *El Niño*, y la erradicación misma de los incendios, alteran la dinámica de este fenómeno (Baker, 1993; Román-Cuesta, 2002). Debido a ello, el comportamiento del fuego es poco controlado y tiene efectos negativos que dificultan la gestión forestal y el uso sostenible de la tierra (FAO, 2006).

En el periodo 1997/98, aproximadamente 2.5 millones de hectáreas en diversos ecosistemas del planeta fueron afectadas por el fuego (Cardoso *et al.*, 2004). Estos eventos llamados extremos o mega-incendios, han sido relacionados a la extensión o duración de periodos considerablemente secos. Se ha sugerido que el déficit en la cantidad de lluvia implica consecuencias mayores en términos de riesgo de incendios (Villers y López, 2004). Por ejemplo, se ha documentado la sincronización de periodos secos excepcionales como el de 1998, causados por el efecto de *El Niño* en el clima, con temporadas de incendios excepcionales en Indonesia, África, Centroamérica y América del Sur (Romme *et al.*, 1998; Cochrane, 2002; Stolle y Lambin, 2003; Roman-Cuesta *et al.*, 2004; Quadri, 2005). El clima de México en 1998 se caracterizó por la disminución de la precipitación, en aproximadamente un 25% de su nivel normal (Cochrane, 2002) y altas temperaturas. Por tanto, los incendios ocurridos en ese año se caracterizaron por su notable extensión; particularmente los eventos ocurridos en el estado de Oaxaca superaron las 1,000 has. incendiadas y afectaron ecosistemas templados de la zona de los Chimalapas. En México, a partir de ese año fue necesario combatir la degradación de los ecosistemas y la pérdida de la biodiversidad derivadas de la presencia del fuego (Eastmond y Faust, 2004), sin embargo, poco se ha hablado en términos de la causalidad de estos eventos. En este trabajo se aborda la influencia de *El Niño-Oscilación del Sur* con los mega-incendios a partir del análisis de factores climáticos, lo cual contribuye al conocimiento de la dinámica particular de este tipo de incendios que en el presente tienen importantes implicaciones en la pérdida de la biodiversidad en el mundo.

2. Planteamiento del problema.

En los últimos 30 años se han presentado dos de las más severas temporadas de incendios registradas en México: 1988 con 518,265 hectáreas incendiadas y 1998 con 849,632 has. afectadas por el fuego; 21% de las cuales correspondieron a zonas forestales y el restante 79% a zonas cubiertas de matorrales y pastos (Palacio *et al.*, 1999). Las temporadas intensas de fuegos y las sequías severas provocadas por *El Niño*, han sido relacionadas ampliamente porque se presentan en los mismos años (Magaña, 1999; PUMA, 1999; Cochrane 2002), pues se piensa que *El Niño* provoca las condiciones climáticas y meteorológicas adversas que favorecen la presencia de incendios. En diversas publicaciones se ha sugerido que las temporadas más severas de incendios coinciden con la fase cálida del ENOS también conocida como *El Niño*, la cual se caracteriza por prolongar y reforzar los impactos de la sequía al sur de México. En cambio, al noroeste del país *El Niño* coincide con el aumento de las lluvias, no obstante los efectos del evento 1997/98 provocaron un déficit de lluvia generalizado en casi todo el país (Magaña, 1999).

Sin embargo, existen pocos estudios que hayan abordado con amplitud el efecto de *El Niño* sobre elementos del clima, como la temperatura y la precipitación; las cuales, además de tener dinámicas distintas (especialmente durante las fases del ENOS), también determinan las condiciones en el medio ambiente que aceleran el marchitamiento de la vegetación. La falta de lluvia influye inmediatamente sobre la humedad relativa del ambiente y de la vegetación senescente, al paso de los días, se presenta déficit de humedad del suelo, y en los tejidos de las plantas. La temperatura ambiental también influye en la humedad relativa, regula la desecación de la vegetación y la temperatura interna de los tejidos vegetales. Ambos factores interactúan para determinar el estado de la vegetación que funciona como combustible para el fuego, y teóricamente una sequía o déficit de lluvia severo y altas temperaturas en el ambiente implican mayores cargas de vegetación seca susceptible a incendiarse si existe un factor de ignición (p.e inducción de quemaduras por actividades agropecuarias). Esta gran disponibilidad de combustible al momento de un incendio, puede derivar en eventos de gran magnitud, con miles de hectáreas incendiadas, que aquí se definen como mega-incendios.

Por otro lado, la distribución espacial y temporal de los mega-incendios no tiene un comportamiento uniforme a lo largo de la República Mexicana, su distribución espacial es variable de norte a sur (hubo 28 eventos al norte y 64 al sur), así como el efecto de las

fases del ENOS en el clima. Además, la distribución temporal de los incendios indica que su presencia no está exclusivamente acotada a los años de *El Niño* intensos, si no que, los mega-incendios pueden presentarse en años con una fase moderada o sin la influencia de este fenómeno. Los incendios de los estados del norte se presentaron de 1998 al año 2000, mientras que en los estados del sur se registraron de 1998 al 2005.

La información generada a partir del análisis de los efectos de *El Niño* en el comportamiento de los incendios, es relevante para explicar y cuantificar el impacto del ENOS en los ecosistemas de México, establecer reglamentos de control de combustibles forestales, e implantar acciones de manejo y combate en las temporadas extremas de incendios.

3. Marco Teórico.

3.1 Incendios forestales: origen y causas.

El fuego influye en la composición y dinámica del paisaje (Baker, 1995), así como en la función, estructura y composición de los ecosistemas (Cochrane, 2002). El fuego afecta profundamente la distribución de las especies, el estado sucesional de los bosques y la configuración de los hábitats naturales; además influye en los procesos biológicos y en los ciclos biogeoquímicos (Flannigan *et al.*, 2000; Weisberg y Swanson, 2003). Sus efectos ecológicos se manifiestan en la reducción de la biomasa del ecosistema, pérdida de nutrientes a la atmósfera (en forma de gases y partículas) e incremento en la cantidad de nutrientes como nitrógeno y fósforo. Al mismo tiempo, la quema de la biomasa produce cantidades significativas de gases como el metano (CH₄), el óxido nítrico (N₂O), y alteraciones en las emisiones de dióxido de carbono que contribuyen al calentamiento global y a otros cambios atmosféricos globales (Roman-Cuesta, 2002; Barbosa y Fearnside, 2004).

El fuego es causado de forma natural (rayos, actividad volcánica); accidental (accidentes automovilísticos, ferroviarios y aéreos, ruptura de líneas eléctricas); intencional (conflictos entre personas o comunidades, tala ilegal, litigios); y por negligencia (quemadas agropecuarias, fogatas de excursionistas, fumadores, quema de basura, uso del fuego en otras actividades productivas dentro de las áreas forestales; Conafor, 2004b). Lo cual afecta la distribución, cantidad y propiedades de humedad de los combustibles naturales situados en áreas boscosas, cuya quema no estaba prevista, por lo que el fuego presente de manera no programada recibe el nombre de incendio forestal (Cenapred, 2001; Conafor, 2004b).

En México, la Secretaría del Medioambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) identificó que una de las causas principales de los incendios forestales en México es el uso del fuego en la agricultura (Eastmond y Faust, 2004). Los agricultores realizan las quemadas para establecer cultivos, preparar la tierra, inducir y expandir la presencia de pastos para la ganadería (Kauffman *et al.*, 2003), mantener la productividad, y la diversidad en la composición de los pastizales (Cochrane, 2002; Kauffman *et al.*, 2003; Suyanto *et al.*, 2004). El fuego se usa, principalmente, como parte de un sistema agrícola llamado roza-tumba y quema, con el cual se realizan aclareos temporales, especialmente en paisajes forestales (Ketterings *et al.*, 1999; Metzger, 2002; Schuck *et al.*, 2002). Este es un sistema de producción agrícola antiguo, de práctica muy arraigada y difundida por más

de 250 millones de personas en el mundo (Metzger, 2002). Se usa aproximadamente en el 30% de la tierra cultivada del planeta, particularmente por comunidades indígenas en regiones tropicales (Metzger, 2002). Diversos estudios indican que las políticas de tenencia de la tierra, el aumento actual de la población, las políticas gubernamentales y el riesgo en el mercado (Schuck *et al.*, 2002), promueven la adopción de este sistema agrícola (Schuck *et al.*, 2002). La quema de la biomasa optimiza el trabajo, gastos, energía y capital para el clareo del terreno, ya que implica bajos costos y eficiencia muy alta (Kauffman *et al.*, 2003). Sin embargo, tiene poco potencial para proveer a las poblaciones rurales de un estilo de vida saludable y próspero (Schuck *et al.*, 2002).

Cardoso *et al.*, (2004) indica que aunque el fuego es considerado una alternativa económica viable, su uso en actividades antrópicas produce grandes pérdidas físicas y monetarias, particularmente en años como 1998. En el Amazonas, hubo la quema accidental de 67,000 km², de los cuales 26,000 fueron de bosque natural, esto significó pérdidas económicas debido a tratamientos para enfermedades respiratorias por la liberación de entre 36 y 470 millones de toneladas de carbono a la atmósfera (Cochrane, 2002). En el caso de Indonesia, los incendios de ese año originaron una densa capa de humo de más de 3 millones de km², y las pérdidas económicas fueron estimadas en más de 4.5 billones de dólares (Stolle *et al.*, 2003), así como la destrucción de millones de hectáreas de bosques tropicales, tierras, plantaciones y terrenos pantanosos (Tacconi y Vadya, 2005).

Asimismo, las compañías forestales o aserraderos usan el fuego en la explotación maderera para remover residuos orgánicos; para preparar y eliminar los desechos vegetales y facilitar la creación de plantaciones e introducir plantaciones de especies nuevas (Ketterings, 1999; Stolle y Lambin, 2003). En ese mismo sentido, existe una fuerte asociación espacial entre los incendios y los cambios de uso de suelo, ya que deliberadamente se inician quemas para realizar la conversión de la cobertura del terreno. Por ejemplo, en Brasil se ha realizado la conversión de bosque tropical a pastizales, y en África se ha utilizado para el aclareo y para establecer plantaciones y campos agrícolas (Stolle *et al.*, 2003).

Otro uso del fuego se refiere a su desempeño como arma en los conflictos sociales que acompañan la conversión forestal (Ketterings, 1999). En Indonesia las quemas son provocadas por las demandas de apertura de espacios y asignación de recursos entre los grandes y pequeños productores para el establecimiento de palmas aceiteras (Stolle y Lambin, 2003). En el caso de México, el crecimiento acelerado de la

población, combinado con el bajo nivel socioeconómico y educativo, provocan la sobrexplotación de los recursos forestales y el incremento anárquico del uso del fuego (Román-Cuesta, 2004).

3.2 Incendios forestales y el clima.

Algunos trabajos de investigación sobre incendios forestales consideran que existe una relación coherente entre sus patrones espaciales y temporales y la variabilidad climática. La sequía, *El Niño*-Oscilación del Sur, la Oscilación Decenal del Pacífico y la variación de la temperatura superficial del mar, son algunos de los fenómenos del clima que influyen en la frecuencia de los incendios forestales y la superficie afectada en amplias escalas temporales, es decir, en años o décadas (Fulé y Covington, 1999; Mckenzie, 2004; Pereira *et al.*, 2005). Esto se debe a que la variabilidad en las condiciones climáticas y meteorológicas modifican la ignición y la propagación de los incendios al determinar el estado de los combustibles (Mckenzie, 2004; Pereira *et al.*, 2005).

La relación que existe entre los patrones de circulación de la atmósfera y del océano, induce la existencia de temporadas secas y extremadamente calientes que determinan la dinámica de los incendios (Pereira *et al.*, 2005). Es sabido que la presencia de estas condiciones climáticas durante un largo periodo promoverá una mayor disponibilidad de combustibles (material vegetal seco) en el terreno. El calor o alta temperatura provocará la ignición y el viento favorecerá la cantidad e intensidad del proceso de combustión (Cochrane, 2002). Por ejemplo, Piñol *et al.*, (1998) encontraron relaciones significativas entre las condiciones meteorológicas y la ocurrencia del fuego en la costa Mediterránea de España. Los incendios se concentran en los meses en que la temperatura es alta y los niveles de humedad en el aire y en los combustibles son bajos. En dicho periodo la sequía aumenta porque existe incremento en el promedio de temperatura y el rango de temperatura diurna, provocando un alto nivel de evapotranspiración, lo cual a su vez genera un aumento en el número de días de alto riesgo de incendios. En cambio, estudios recientes de incendios en Indonesia indican que en un medioambiente densamente húmedo, un año seco como 1998 está relacionado con el aumento en el número de incendios; la sequía provocada por la variabilidad en la precipitación controla la biomasa que se quema, y por lo tanto es la mayor determinante para la ocurrencia del fuego (Christensen, 1993; Stolle y Lambin, 2003). Aunque se sugiere que las quemadas como parte de las actividades antrópicas en combinación con las

condiciones biofísicas incrementan la susceptibilidad de un ecosistema al fuego (Taylor *et al.*, 1999; Stolle y Lambin, 2003). Por ejemplo, en los bosques lluviosos o tropicales, la sequía actúa como el catalizador que refuerza el impacto de actividades humanas como la tala, el cambio de uso de suelo, la expansión de la agricultura, la corta selectiva y las políticas de tenencia de la tierra. Estos factores disminuyen la capacidad del ecosistema para recuperarse de la presencia del fuego (favoreciendo su susceptibilidad al fenómeno y su degradación), ya que los incendios originados a partir de estas actividades frecuentemente se salen de control (Taylor *et al.*, 1999; Stolle y Lambin, 2003).

La variabilidad climática es la fluctuación natural recurrente en el clima en escalas temporales y sus causas son generalmente naturales (Gómez-Mendoza y Galicia, 2004). Las variaciones climáticas se clasifican en *periódicas* (con un ciclo de variación bien conocido y son predecibles, por ejemplo lluvias y monzones), *aperiódicas* (esporádicas, que con su repentino surgimiento afectan la dinámica del sistema climático, como sucede con los ciclones tropicales) y *cuasi periódicas* (con ciclos recurrentes pero poco predecibles, como el fenómeno de *El Niño*-Oscilación del Sur [ENOS] con un periodo de dos a diez años) (Gómez-Mendoza y Galicia, 2004).

El Niño es parte de un ciclo climático llamado El Niño-Oscilación del Sur (ENOS). El Niño se refiere al componente oceánico y representan la fase cálida del fenómeno (La Niña representa la fase fría), ocurre con el calentamiento de la superficie del océano en la zona central del ecuador y al oeste del océano Pacífico. Mientras que, la Oscilación del Sur describe al componente atmosférico, este consiste en la oscilación de presiones atmosféricas por debajo de lo normal entre los extremos este y oeste del Océano Pacífico. A principios del siglo XX se descubrió que la presión se incrementaba por encima de lo normal en las cercanías de Tahití y al mismo tiempo esta descendía por debajo de lo normal cerca de Australia (NOAA, 2008; Zavala-Sánchez, 2007).

Bajo la definición más aceptada, *El Niño* corresponde al estado climático en el que la temperatura de la superficie del mar está 0.5 °C o más por encima de la media del periodo 1950-1979, por al menos seis meses consecutivos (Magaña, 1999) (Figura 1). Los años 1983,1988 y 1998 corresponden con índices positivos del fenómeno de *El Niño* en México, y se asocia a condiciones anómalas de precipitación, así como a la alta incidencia de incendios (Palacio-Prieto *et al.*, 1999; Taylor *et al.*, 1999).

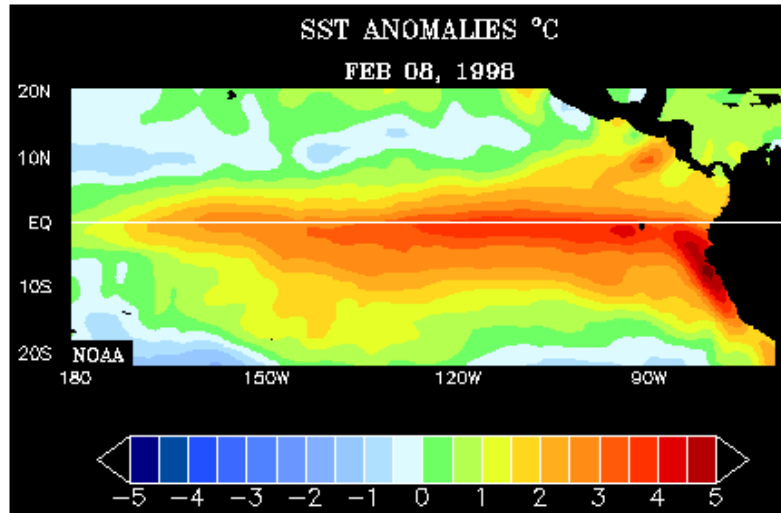


Figura 1. Anomalías de temperatura en la superficie del mar del Océano Pacífico. Fecha 8 de Febrero de 1998.

Se sabe que el fenómeno de *El Niño* afecta las lluvias en México, especialmente en el centro de país y tiene repercusiones tanto en las lluvias de verano como en las de invierno (Magaña, 1999). Se puede decir que las lluvias se intensifican durante los años de *El Niño* en el noroeste y noreste de México, mientras que disminuyen hacia la parte Sur (Magaña, 1999). Los incendios forestales extremos pueden estar relacionados con este fenómeno, pues existe un periodo considerablemente seco y consecuentemente una gran acumulación de material combustible en áreas boscosas. Las variaciones mencionadas en *El Niño* pueden determinar la variabilidad en la presencia de los incendios extensos.

3.2.1 La señal de *El Niño* en invierno.

Los sistemas climáticos de latitudes medias utilizan el sistema de corriente en chorro para adquirir energía. Durante años de *El Niño* la circulación media invernal es alterada por una onda estacionaria que se ha denominado patrón de circulación del Pacífico de Norte América (PNA). La presencia de esta anomalía en la circulación media, resulta en cambios en la posición de la corriente de chorro de latitudes medias y subtropicales que se desplazan alrededor de 500 km hacia el sur. Entonces, el paso de frentes fríos en el norte de la República Mexicana se vuelve más frecuente y con ello se tiene más lluvia invernal en el norte y centro del país, e incluso en la península de Yucatán. Durante años de *La Niña*, las anomalías en la precipitación de invierno parecen simétricamente opuestas con respecto a las observadas en años de *El Niño* (Magaña, 1999). El impacto de *El Niño* en las lluvias de invierno de México no es siempre el mismo.

Esto quiere decir que existen diferencias en las características regionales y temporales de las anomalías de lluvia y temperatura de un año de *El Niño* a otro. Por ejemplo, *El Niño* de 1997-98 sólo impactó el norte de Baja California, parte de Sonora y la península de Yucatán (Figura 2; Magaña, 1999).

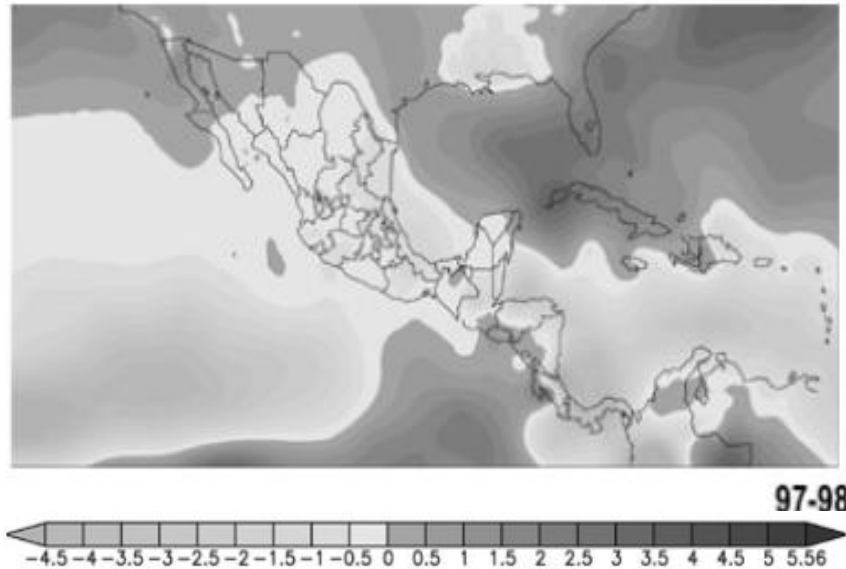


Figura 2. Anomalías de precipitación (mm/día) durante el evento de *El Niño* de 1997-98. Fuente: Magaña, 1999.

3.2.2 La señal de *El Niño* en verano.

En México, durante el verano *El Niño* provoca que las lluvias en la mayor parte del país disminuyan, llegando con frecuencia a producir sequías. Varios son los procesos dinámicos que se combinan y que resultan en una disminución en la actividad convectiva sobre México durante veranos de *El Niño*. Estos tienen que ver principalmente con cambios de los sistemas atmosféricos relacionados con la lluvia. En primer lugar, la Zona Inter-Tropical de Convergencia (ZITC) del Pacífico del este, donde existe gran cantidad de nubes profundas (*cumulunimbus*), tiende a permanecer más cercana del ecuador. Al desaparecer este contraste térmico meridional durante *El Niño*, la convergencia permanece cerca de la región de agua anómalamente caliente frente a Sudamérica, por lo que los movimientos convectivos ascendentes más importantes de la estación ocurren lejos del territorio mexicano. El desplazamiento meridional de la ZITC resulta en menor actividad convectiva cerca de nuestro país y por lo tanto en menos lluvias. La disminución en la densidad de nubes sobre México permite el aumento en la cantidad de radiación que llega a superficie, con lo que se registran temperaturas por encima de lo normal en gran parte del territorio durante veranos *El Niño*. Asimismo, la intensificación de los vientos

alisios sobre México en años de *El Niño*, inhibe la entrada de humedad por las costas del Pacífico y debilita la componente orográfica de la lluvia, tan importante en la cantidad de precipitación en esa zona del país (Magaña, 1999; Figura 3).

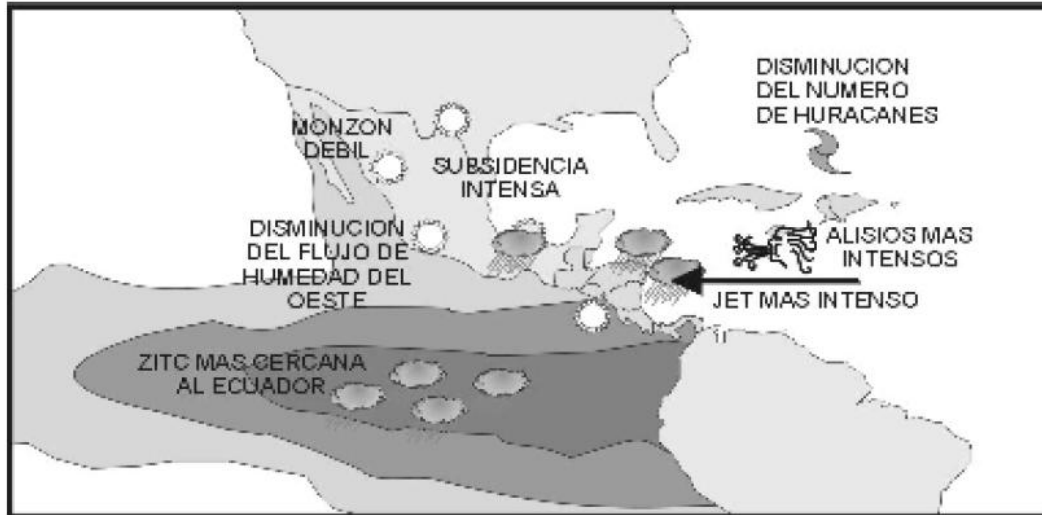


Figura 3. Diagrama de los impactos de *El Niño* en el clima de verano en México. Fuente: Magaña, 1999.

3.3 La dinámica de los incendios y su relación con *El Niño-Oscilación del Sur*.

En Brasil, en años con presencia de *El Niño*, cientos de kilómetros de bosque del Amazonas se queman accidentalmente (Cochrane, 1998), la vegetación seca permite que los fuegos agrícolas y de sabana se extiendan libremente por los bosques cuando se alcanzan los niveles más bajos de humedad (en algunos casos por falta de lluvia en 70 días; Cochrane, 2002). En el Sureste de Asia, los estudios indican que *El Niño* está asociado a la reducción de los niveles de precipitación desde 1877 en las áreas de los bosques lluviosos. Una consecuencia de este fenómeno es una gran vulnerabilidad al fuego, fundamentalmente porque la luz penetró al suelo disminuyendo los niveles de humedad relativa en la superficie y en la vegetación de este estrato, fomentado la existencia de una gran cantidad de combustible en el piso del bosque (Taylor *et al.*, 1999). Otras manifestaciones del efecto de *El Niño* en el comportamiento de los incendios se documentaron en Mongolia y Siberia en 1987 (7 millones de has. afectadas), y en Yellowstone EE.UU en 1988, (570,000 has. incendiadas). Asimismo, se dice que en el episodio de 1982-1983 (años con una de las sequías más severas de este siglo, donde la actividad del fuego quemó millones de hectáreas en Norteamérica, Indonesia y Australia), se planteó la relación de *El Niño-Oscilación del Sur*-incendios forestales, ya que los

eventos se asocian la fase alta del ENOS en la región de Norteamérica (Swetnam y Betancourt, 1990).

En México, Magaña (1999), menciona que los fenómenos vinculados a *El Niño* en el ciclo 1997-1998, fueron:

- 1) Aumento de la sequía durante el verano;
- 2) Disminución de huracanes en el Caribe y Golfo de México;
- 3) Potencial aumento de la intensidad de los huracanes en el Pacífico; y
- 4) Lluvias invernales intensas en el noroeste del país.

Las investigaciones de los últimos años apuntan a la alteración del clima por influencia humana, recientemente los años son más cálidos, lo cual, dicen los investigadores, puede ser un síntoma de cambio climático por causas antropogénicas, incluso se habla de que puede estar vinculado al aumento de la frecuencia e intensidad de *El Niño* a partir de los ochentas (Magaña, 1999). Esto se ha cuantificado a partir de la generación de escenarios futuros del clima, los cuales muestran una íntima relación de los procesos como *El Niño* y las fluctuaciones entre precipitación y temperatura (Magaña, 1999).

La disminución o exceso en las lluvias alrededor del mundo, ocasionadas por la aparición de *El Niño* tiene impactos importantes en el clima. En México, la precipitación registrada en el segundo semestre de 1997 dio lugar a la acumulación de una gran cantidad de biomasa (PUMA, 1998) o materiales vegetales. El material vegetal es considerado como el combustible disponible para incinerarse, el cual se descompone como resultado de la ignición y la combustión (DeBano *et al.*, 1998).

Posteriormente en la primavera de 1998, el comportamiento exacerbado del fuego se presentó con la sequía y un tiempo atmosférico con fuertes vientos que provoca un aumento de la susceptibilidad de la vegetación a las quemadas inducidas o naturales (PUMA, 1998). En México, la mayor parte de los incendios son provocados y ocasionan la pérdida de grandes superficies forestales; en ese sentido la temporada de incendios de 1998 es considerada como la de mayor daño ecológico en más de 30 años, porque arrojó una superficie afectada superior a las 849,632 hectáreas (Magaña, 1999; Figura 4).

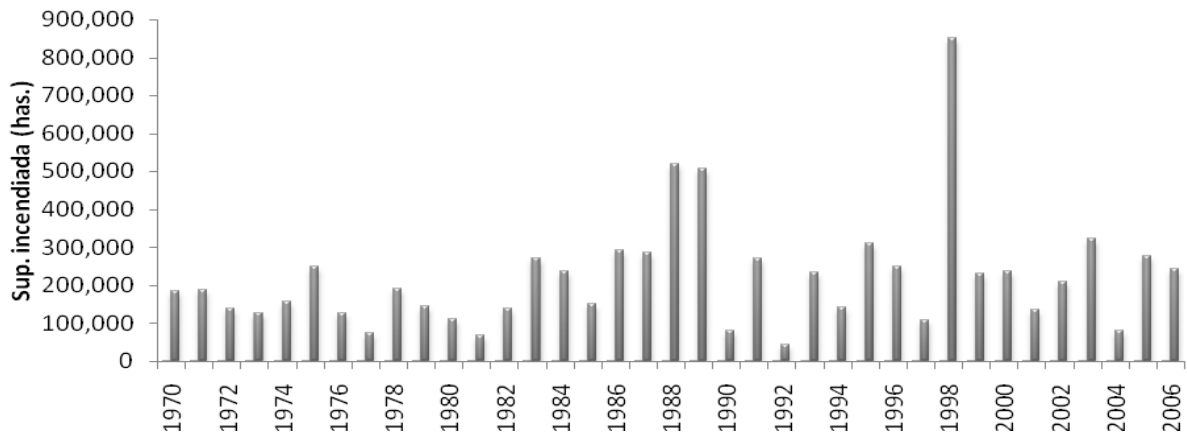


Figura 4. Superficie incendiada anual de 1970 al 2006. Fuente: Conafor, 2004a.

Durante el periodo de sequía se presenta un estrés hídrico en la vegetación que deriva en la pérdida de hojas, el aumento en la cantidad de hojarasca, y la mortandad de los árboles (Turner, 2001; Cochrane, 2002). La gran disponibilidad de este material se incrementa y hace que se propague hacia los materiales vegetales más pesados, como son las capas gruesas de humus del piso del bosque. En un periodo seco este material es fácilmente consumido por el fuego y produce agitadores o chispas, que por si mismos producen nuevos lugares de ignición del fuego (DeBano *et al.*, 1998). Estas chispas o pavesas son transportadas por el viento, además, este elemento airea el fuego y aumenta la disponibilidad de oxígeno, mejorando la cantidad e intensidad del proceso de combustión (Cochrane, 2002). El viento o aire en movimiento rige la dirección del fuego y determina la configuración del incendio (Cenapred, 2001). Sin embargo, en el caso de los mega-incendios la propagación es casi imprevisible y muy errática porque los vientos son fuertes y con mucha variación, frecuentemente surgen remolinos, la fuerza del incendio es tal que supera a la del viento y las pavesas son emitidas en varias direcciones (Cenapred, 2001).

El resultado es un aumento sustancial en la cantidad de combustible y la superficie incendiada puede ser mayor (Turner, 2001; Cochrane, 2002). Las fuertes ráfagas de viento son las encargadas de diseminar el fuego rápidamente (Magaña, 1999), los vientos de febrero y marzo fueron intensos, cambiantes y duraderos, similares a los del huracán pero sin agua, que además de avivar el fuego obstaculizaron las operaciones de combate (PUMA, 1998)

Estudios de incendios realizados al sur de México indican que el fenómeno de *El Niño* representa una causa estructural de los incendios, es decir, que influye en los

factores del ambiente que favorecen la presencia de incendios (sequía, viento, baja humedad relativa; Román-Cuesta, 2002); y que a su vez promueven la cantidad e intensidad del proceso de combustión (Cochrane, 2002).

2.4 Los incendios extremos o mega-incendios.

El estudio de los eventos climáticos extremos ha sido impulsado en los últimos años por el aumento en los costos y la pérdida de vidas humanas derivados de los daños ocasionados por fenómenos como: inundaciones, sequías, tormentas, olas de calor y periodos fríos (Beniston y Stephenson, 2004). No obstante, se considera que el aumento en el riesgo para la población, se debe al incremento en la densidad de población y en las actividades de la misma (Beniston y Stephenson, 2004). Lo que caracteriza a un evento extremo es la baja frecuencia y largos periodos de retorno, esto implica cambios en la frecuencia, ocurrencia e intensidad del fenómeno, es decir que se exceden los umbrales establecidos (Beniston y Stephenson, 2004).

Los mega-incendios son fenómenos que se presenta al existir la interacción de un evento climático extremo (la sequía), con actividades antrópicas que incluyen el uso de fuego y ecosistemas vulnerables a los incendios. Los mega-incendios son una traducción de la expresión “Mega-fire” usada en los EE.UU a partir del año 2003 y describe una serie de incendios extraordinarios que se han presentado en ese país desde el año 2000 (The Australian, 2006). En el año 2003 hubo incendios en Canberra, España, Francia, Canadá y California, que implicaron la pérdida de vidas humanas y áreas muy extensas afectada por el fuego, estos incendios, se dice, son comparables a una bomba atómica por la cantidad de mega-watts de energía liberados (The Australian, 2006). Al parecer los mega-incendios no están definidos en términos absolutos (p.e en has. incendiadas), pero cuando un incendio es muy grande la complejidad es su mayor descriptor. Esta definición también surge a partir de las operaciones de combate necesarias para suprimir los incendios, se conocen cuatro clases:

1. incendios iniciales,
2. incendios propagados o extendidos,
3. grandes incendios y
4. mega-incendios (BICPPEW, 2005).

En México, los incendios son catalogados por la Comisión Nacional Forestal en tres niveles, esta clasificación depende de la magnitud del incendio y de las condiciones para su control y combate:

Incendios de nivel I. Son incendios de pequeña magnitud que para ser controlados requieren sólo de la participación de las brigadas de las instituciones oficiales responsables en el estado (CONAFOR y gobierno estatal) y de personal voluntario de las comunidades (Conafor, 2006).

Incendios de nivel II. Estos incendios, de magnitud media, para ser controlados requieren de la participación de otras instituciones como Protección Civil, Secretaría de la Defensa Nacional, gobierno municipal y otras instancias del gobierno estatal, así como personal voluntario de la sociedad. Implica mayor aportación de recursos humanos, materiales y financieros (Conafor, 2006).

Incendios de nivel III. Estos incendios, por su gran magnitud, requieren de la participación y apoyo con recursos de otras instituciones del Gobierno Federal (Secretaría de la defensa Nacional, Protección Civil, Secretaría de Comunicaciones y Transportes, Comisión Nacional del Agua, Secretaría del Medioambiente Recursos Naturales), e inclusive se llega a requerir ayuda internacional para refuerzos con brigadas, equipo especializado y aéreo (Estado de Emergencia Internacional) y personal voluntario de organizaciones del sector social y privado. Implica una mayor aportación de recursos (Conafor, 2006).

Estos últimos, como los eventos a nivel mundial, son pocos, pero cubren un área enorme (p.e 560,000 has. en Australia), exhiben un comportamiento complejo y sobrepasan por mucho los esfuerzos y las operaciones de combate (The Australian, 2006). De acuerdo con datos de SEMARNAP, el combate a los incendios realizado en México en 1998 lo realizaron 1,954 personas, se contaron con 88 torres de observación y 34 centros de control, recursos insuficientes para cubrir el conjunto de áreas siniestradas. Ante tal problema, la SEMARNAP solicitó el apoyo de la Secretaría de la Defensa Nacional, institución que aportó 142 mil 168 efectivos militares quienes participaron en la extinción de 3 mil 110 incendios forestales (Magaña, 1999).

Las pérdidas ecológicas son imposibles de calcular debido a que los incendios han destruido diferentes especies de árboles. Con base en información obtenida hasta el mes de octubre de 1998, el costo económico por los incendios que destruyeron extensas zonas boscosas es de alrededor de 2 mil 300 millones de pesos. Este es el resultado de sumar los costos por extinción de incendios, reforestación de zonas destruidas y pérdida de existencia de recursos maderables disponibles. A los costos económicos hay que sumar los costos sociales y los generados por las pérdidas de vidas humanas a causa de

los incendios, las cuales sumaron más de 80 muertos, principalmente al tratar de extinguir el fuego (Magaña, 1999).

Los mega-incendios son extraordinarios en términos de tamaño, complejidad y resistencia al control, usualmente ocurren en lugares secos donde existe una gran cantidad de material vegetal muerto y la acumulación de biomasa viva puede servir como combustible en eventos de gran intensidad (BICPPEW, 2005). No es inusual que la severidad de los eventos sea exacerbada en años de sequía, los mega-incendios son pocos, hablando de frecuencia, y se presentan bajo estados extremos del clima que deriva en el comportamiento extremo de los incendios. Exceden todos los esfuerzos convencionales de control hasta que hay un atenuante en el tiempo atmosférico o un rompimiento en la continuidad del combustible (BICPPEW, 2005).

El tamaño de los incendios es una variable dinámica, los incendios generalmente son irregulares respecto a su tamaño y forma (Hudak *et al.*, 2004). Por ejemplo, en Oaxaca en 1998 aproximadamente el 70% de los incendios tuvieron un tamaño menor a 50 has. y el 4.29% corresponde a incendios de más de 1200 hectáreas afectadas (González-Ramírez, 2005). Los incendios de ese año se caracterizaron por su extensión y frecuencia (Conafor, 2004b). Este tipo de incendios, que tienen un alto significado social, económico y ecológico (Beverly y Martell, 2005), han sido ampliamente relacionados factores específicos del clima. Por ejemplo, Pausas (2004) en la Costa del Mediterráneo reporta que los cambios regionales en la superficie incendiada y la frecuencia de los incendios son provocados por la disminución en la precipitación en las últimas cinco décadas. Esta tendencia a escala local y regional es casi imperceptible, sin embargo, hay un aumento claro en la tendencia de las temperaturas máximas y mínimas durante el siglo XX, que tienen como consecuencia que los veranos sean más calientes y secos. Lo cual provoca un aumento en la evapotranspiración y condiciones más secas del medioambiente para las plantas; es decir la humedad del combustible disminuye y la superficie afectada y el número de incendios se amplifican. Badia *et al.*, (2002), en el mismo sentido, afirman que las variables que mejor explican el incremento en la incidencia de los incendios forestales son la temperatura y la humedad relativa. Mientras que en ciertas regiones ocupadas por bosques boreales, cuando la precipitación se incrementa al igual que la temperatura, se produce una tendencia de disminución en la frecuencia de incendios, lo cual se atribuye al efecto del cambio climático (Anderson *et al.*, 2000).

4. Objetivos.

4.1 Objetivo General.

- Analizar la distribución espacio-temporal de los mega-incendios y su relación con las condiciones climáticas inducidas por *El Niño*.

4.2 Objetivos particulares.

- i. Analizar la distribución geográfica y temporal de los mega-incendios de 1998 a 2006, tanto al norte como al sur de México.
- ii. Analizar y comparar la influencia de *El Niño* en la precipitación y temperatura de sitios con mega-incendios, en el norte y sur de México de 1998 al 2006.
- iii. Determinar la relación de *El Niño* con los mega-incendios al norte y sur de México de 1998 al 2006.

5. Métodos.

5.1 Sitio de estudio.

Las entidades analizadas se seleccionaron por la disponibilidad de la base de datos que permita georreferenciar a los mega-incendios, así como la búsqueda de estados con efectos contrastantes del ENOS. Los estados que se incluyen en este análisis son Chiapas, Chihuahua, Durango, Oaxaca y Tamaulipas (Figura 5).

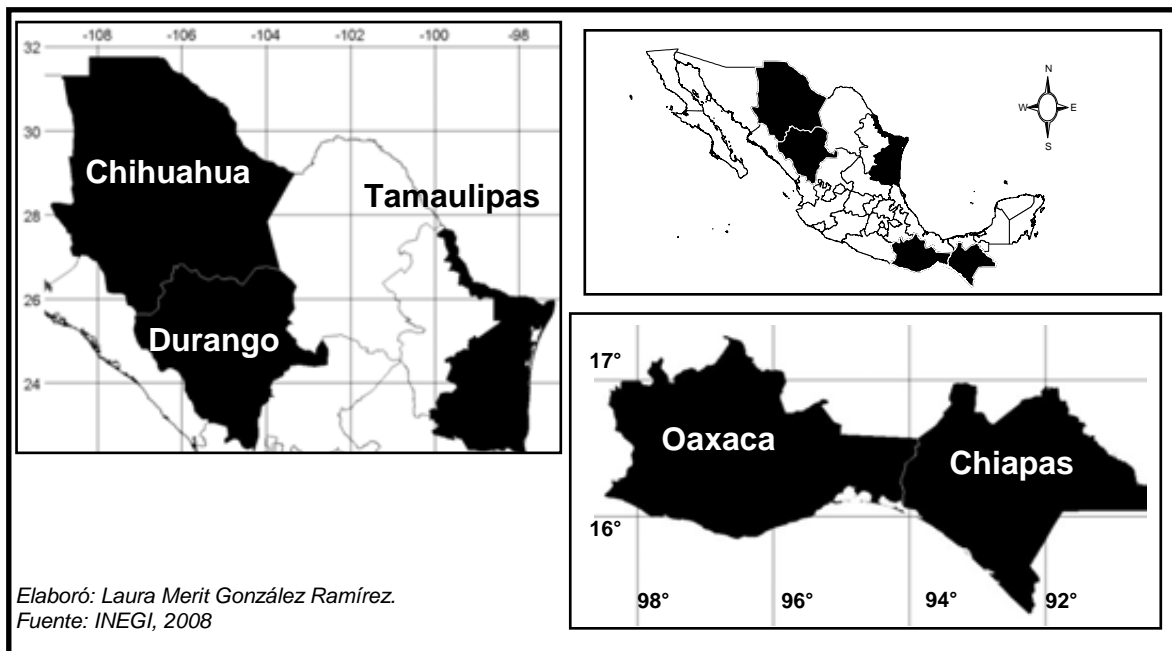


Figura 5. Localización de los cinco estados incluidos en el estudio

El estado de Chiapas se localiza en la costa suroeste del país, ocupa el 4% de la superficie del país (Inegi, 2008). Los cultivos principales en el estado son: maíz, frijol, café, cacao y caña de azúcar; al ser cultivos de temporal su volumen y valor de producción dependen de los factores naturales (INFDM 2005). La cría de bovinos es la actividad ganadera más importante en el estado, en su explotación se identifican tres aspectos: la producción de leche y becerros, la engorda de novillos, y la cría de sementales, también se practica la cría de ganado porcino y aves de corral (INFDM 2005). En el estado se destacan las plantas hidroeléctricas de la Comisión Federal de Electricidad y la refinería de Petróleos Mexicanos, donde se produce: petróleo condensado, azufre, gas residual, etano plus, gas licuado, y gasolina nafta ligera (INFDM 2005). Otras actividades predominantes en el estado son el comercio, el turismo y la pesca. En Chiapas más del 60% del suelo está ocupado por bosques tropicales y

bosques templados. Por lo cual la explotación forestal se basa principalmente en coníferas y especies comunes tropicales (INFDM 2005). Chiapas es uno de los estados con mayor población indígena del país, su densidad poblacional total es moderada, sin embargo, sus municipios presentan altos índices de marginación y es uno de los tres estados del país con mas población analfabeta (Macmillan-Castillo, 2006).

El estado de Oaxaca se localiza en la costa suroccidental de México, representa el 5% de la superficie del país (Inegi, 2007). Por sus características biogeográficas y físicas es una de las regiones más biodiversas del mundo (Velázquez et al., 2003). La agricultura es una de las actividades más relevantes, la mayor parte se realiza en tierras de temporal y se ubica principalmente en los Valles Centrales, la Mixteca, el Istmo y la Costa; se cultivan principalmente maíz, frijol, café, caña de azúcar, arroz, algodón, etc (INFDM 2005). En la ganadería destaca la cría de ganado bovino y porcino. Por otro lado, las reservas mineras incluyen carbón, grafito cristalino, titanio, plata, oro y plomo; también opera una refinería que satisface la demanda de combustóleo, destilado y gas licuado (INFDM 2005). La afluencia turística es otra de las actividades de contribuyen al desarrollo económico del estado (INFDM 2005). Oaxaca presenta un grado considerable de analfabetismo y sus municipios presentan altos niveles de marginación, es una entidad con baja densidad poblacional y bajos niveles de desarrollo (Macmillan-Castillo, 2006).

Chihuahua se localiza al norte del país y representa el 13% de la superficie del país (Inegi, 2007). Los cultivos principales en el estado son: maíz, frijol, chile y avena. Los bosques templados y tropicales ocupan un apoco más del 30% de su territorio (INEGI, 2007). La producción ganadera se concentra principalmente en el ganado bovino, equinos y aves de corral (INFDM 2005) (INFDM 2005). Las empresas maquiladoras son muy importantes para el desarrollo económico del estado, se calcula que este rubro da ocupación a cerca del 21% de la población económicamente activa (INFDM 2005). Por otro lado, cuenta con baja densidad poblacional y altos índices de migración aunque se encuentra entre los estados con menor índice de marginación, la población indígena en la región de la Sierra Tarahumara presenta un grado bajo de desarrollo (Macmillan-Castillo, 2006).

Durango localizado al norte del país, representa el 6% de la superficie nacional, su superficie está ocupada principalmente por bosques templados y tropicales (47%) (INEGI, 2007). En la agricultura de Durango, sobresale la producción de maíz, frijol, alfalfa y avena forrajera (INFDM 2005). Esta entidad se destaca en la producción de carne y leche de caprino y bovino. En el estado es sobresaliente la industrialización de minerales, la

industria de la construcción, fundiciones etc (INFDM 2005). Ocupa uno de los primeros lugares en la explotación de pino y la industrialización de la madera es uno de sus principales ramos industriales, esto incluye la fabricación de tableros aglomerados, triplay, puertas, fabricación de muebles y aserraderos (INFDM 2005). Durango presenta un grado mediano de desarrollo, presenta altos índices de alfabetismo, presenta baja densidad poblacional y altos índices de migración (Macmillan-Castillo, 2006).

Tamaulipas representa el 4% de la superficie del país. El 28 % lo ocupan los bosques templados y tropicales (INEGI, 2007). En Tamaulipas la agricultura incluye el cultivo de sorgo, maíz, caña de azúcar, algodón, etc., también es relevante la producción de cítricos la cual incluye el cultivo de naranja, mandarina, toronja y limón (INFDM 2005). La ganadería es de carácter extensivo, principalmente se cría ganado bovino. La actividad minera se sintetiza en la extracción de plomo, zinc, asbesto, fosforita y talco, existen refineries de hidrocarburos que cuentan con tanques de almacenamiento y centros petroquímicos, pozos petroleros y de gas, esta infraestructura representa la partida del Sistema Nacional de Oleoductos (INFDM 2005). En Tamaulipas se presenta una baja densidad poblacional, altos niveles de alfabetismo y de desarrollo humano (Macmillan-Castillo, 2006).

5.2 Datos de incendios.

Se utilizaron los Cuadros Estadísticos de Incendios Forestales de los estados de Chiapas, Chihuahua, Durango, Oaxaca y Tamaulipas, las cuales se obtuvieron de las delegaciones respectivas de cada estado de la Comisión Nacional Forestal (Conafor). Los registros mencionados son reportes de campo que incluyen información del periodo 1998-2006, consisten en listados con los datos de inicio del incendio, ubicación por localidad, municipio, región, causa, y número de hectáreas afectadas por las conflagraciones. Se definió a los mega-incendios como aquellos eventos que superaron las 1,000 hectáreas incendiadas, en dos áreas contrastantes de efecto de *El Niño* en el país. Se realizó una selección de los incendios, con base en el tamaño promedio de los incendios en cada estado, el ecosistema afectado (p.e bosque templado y tropicales), la disponibilidad de datos para cada incendio y la referencia a estudios de incendios extremos (p.e Beverly y Martell, 2005).

Para conocer la distribución espacial y temporal de los mega-incendios, primero se realizó la asignación de coordenadas geográficas a cada evento. Se tomó como referencia la localidad donde se presentó cada uno de los incendios según la Conafor. Se

integró la información con un SIG (Arcview) y se realizó el mapeo de los mega-incendios en Chiapas, Chihuahua, Durango, Oaxaca y Tamaulipas (Figura 6). En segundo lugar, para caracterizar las condiciones de la presencia de los mega-incendios a cada uno se le asignó un número de identificación (ID), el cual es el mismo que tiene en la relación de datos incendios original de Conafor. Además, del mismo registro, se agregaron datos como la fecha de inicio del incendio, superficie incendiada, causas y se integraron los datos vectoriales de uso de suelo y vegetación del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) para obtener el tipo de vegetación afectado por cada incendio.

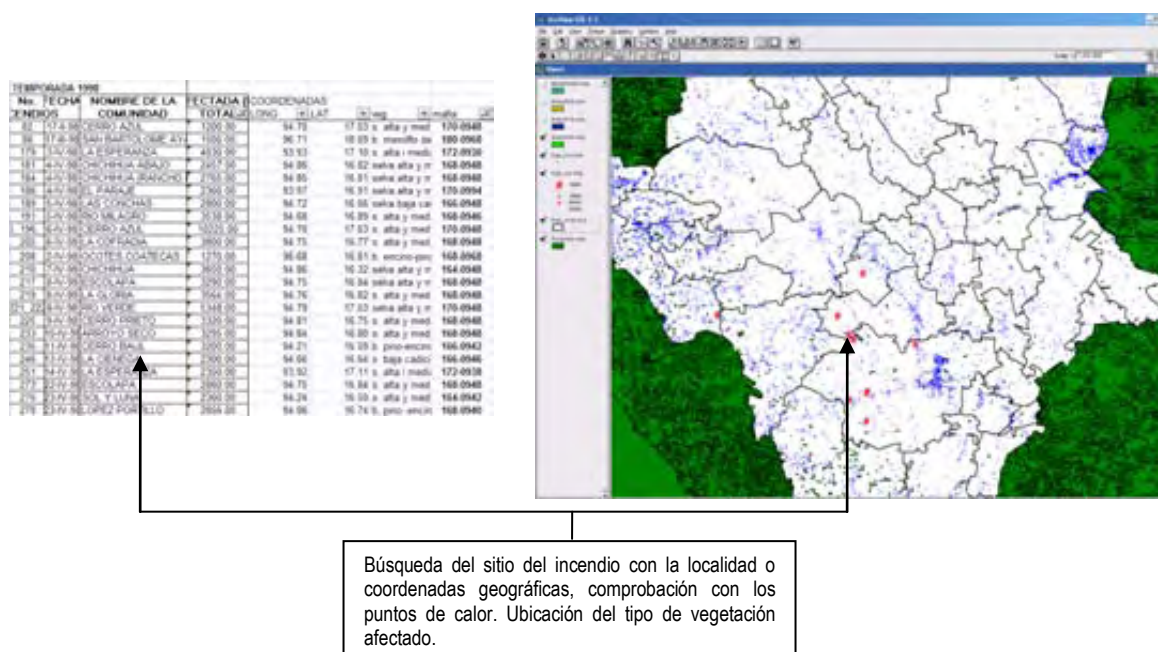


Figura 6. Ubicación espacial de los mega-incendios.

5.3 Datos de precipitación y temperatura.

El fenómeno de *El Niño-Oscilación del Sur* afecta la estructura y composición forestal de los ecosistemas, tiene efectos contrastantes, como el aumento en la productividad, y cambios en el crecimiento y en la fenología de ciertas comunidades de plantas (Holmgren *et al.*, 2001). Estos efectos se presentan por la influencia que tienen el ENOS en la precipitación y temperatura, elementos que a su vez determinan las condiciones climáticas de los ecosistemas y en la dinámica de los incendios (Holmgren *et al.*, 2001; Van Nieuwstadt y Sheil, 2005).

Después de georreferenciación de los incendios, a cada evento se le asignó, según su localización, la información de la Base de Datos Maya v1.0, esta es una base de

datos climatológica nacional interpolada en malla regular (con informes diarios de precipitación y temperatura de 1961 al 2000 y una resolución de $0.2^\circ \times 0.2^\circ$). También se utilizaron los datos de precipitación y temperatura de Clicom, este programa maneja la Base de Datos Climatológica Nacional, y fue proporcionado por el Servicio Meteorológico Nacional. En este caso se asignó a cada mega-incendio una estación climatológica según su ubicación espacial (Figura 7).

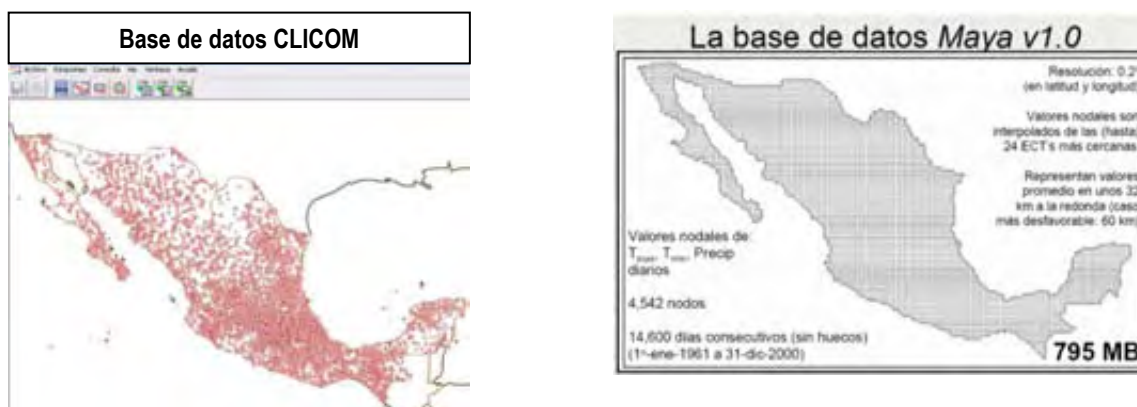


Figura 7. Bases de datos utilizadas para analizar la precipitación y temperatura.

Se usaron dos tipos de bases de datos porque cada una cuenta con ventajas y desventajas para analizar los elementos climáticos en los sitios con mega-incendios. Por ejemplo, Maya v1.0 incluye series completas de datos de 39 años, estos cubren todos los sitios en los que se presentaron los mega-incendios (Figura 7) y se usaron para analizar los eventos de 1998, 1999 y 2000, pues sólo se tienen datos hasta este año. Por otro lado, para analizar los eventos de 2001 al 2006 fue necesario utilizar los datos de Clicom, que es información extraída de estaciones climatológicas hasta el año 2006, no obstante, en algunos casos las series de datos son cortas y no cubren todos los sitios donde ocurrieron los incendios. El uso de estas dos herramientas nos permitió analizar la mayor parte de los mega-incendios del periodo 1998-2006.

Se analizaron tres periodos húmedos y secos previos y durante la temporada de incendios. A estos periodos se les denominó Periodo Húmedo Previo (PHP), Periodo Seco (PS) y Periodo Seco 2 (PS2) Figura. El PHP incluye en promedio de los meses de junio a octubre; el PS en el cual tuvo lugar la temporada de incendios va aprox. de noviembre a mayo; finalmente está el PS2 incluye de enero a marzo (Figura 8).

año previo a los incendios	mayo	periodo húmedo previo (PHP)	
	junio		
	julio		
	agosto		
	septiembre		
año de los incendios	octubre	periodo seco (PS)	periodo seco 2 (PS2)
	noviembre		
	diciembre		
	enero		
	febrero		
	marzo	periodo seco 2 (PS2)	
	abril		
	mayo		
	junio		
	julio		
agosto			

Figura 8. Ejemplo de los meses incluidos en cada periodo de lluvia analizado. El sombreado indica el periodo de ocurrencia de incendios.

El PHP se refiere al verano anterior a la temporada de incendios (primavera) (Figura 5), en el caso de los eventos de 1998 se analizaron los datos de lluvia desde el año 1997. Este periodo, en años con la manifestación del ENOS, puede afectar el estado de la vegetación en la temporada de incendios siguiente. Numerosos reportes sugieren que este acumulado de humedad causa un cambio en la densidad forestal, ya que se manifiesta en una germinación masiva de la vegetación, en ese mismo sentido, las hierbas perennes, los arbustos y los árboles tienen un incremento significativo en su crecimiento, floreciendo y fructificando; lo cual conduce al aumento de la biomasa y al exceso de material combustible (PUMA, 1999; Holmgren *et al.*, 2001). La lluvia acumulada del periodo húmedo previo se cuantificó porque es un indicador indirecto de la proliferación de biomasa combustible para los mega-incendios.

En el PS se incluye la lluvia acumulada de noviembre a mayo, por lo que se incluyen meses fuera y dentro de la temporada de incendios (Figura 5). Permanentemente esta oscilación del clima induce la presencia de combustible que se quema en la primavera, sin embargo, la literatura sobre mega-incendios (BICPPEW, 2005) reporta que cuando se trata de eventos con un amplio rango de dispersión, es decir, de fácil propagación que deriva en eventos de gran magnitud, pueden ser antecidos por una sequía severa que aumenta la cantidad de combustible. El acumulado de lluvia más seco se analiza para evaluar el comportamiento de toda la temporada de sequía que antecede al periodo de incendios.

Finalmente, en el PS2 se analizó la lluvia acumulada de enero a marzo (Figura 5). Se considera este periodo porque algunos estudios indican que una sequía significativa para los incendios es aquella mayor a tres meses con ausencia casi total de precipitación como la de 1997-98 (Van Nieuwstadt y Sheil, 2005; González-Ramírez, 2007) y básicamente en México se ha encontrado que a menor precipitación mensual, mayor es la ocurrencia de los incendios (González-Hernández y Muñoz-Robles, 2007).

Cabe mencionar que las fechas mencionadas del inicio y término de cada periodo analizados, están basadas en las fechas promedio de cada sitio, para obtener estas fechas fue necesario analizar el comportamiento de la lluvia de cada año en cada sitio, así que la Figura 8 sólo es una aproximación a la duración real de cada periodo en cada sitio con mega-incendios. Las fechas promedio pueden ser contrastantes entre estados (Figura 9) y entre sitios. Debido a esto se realizó un análisis detallado y se estableció una fecha promedio para cada sitio con un mega-incendio.

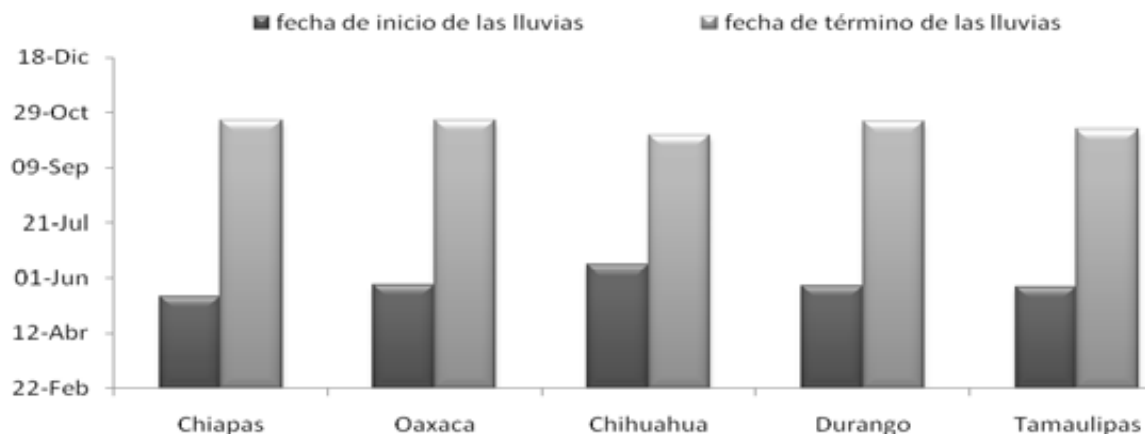


Figura 9. Localización de los cinco estados incluidos en el estudio

Estos periodos se calcularon ordenando la secuencia diaria de los datos de precipitación de 1961 a 2000. Se determinaron las fechas de inicio y término del periodo de lluvias y del periodo seco de cada año (Figura 10) lo cual se obtuvo analizando el comportamiento de los datos y obteniendo una continuidad de por lo menos cinco días con lluvias para determinar el comienzo de la temporada (Odekunle, 2006). El promedio de estas fechas estableció una fecha de inicio y de término de lluvias de 39 años en cada sitio con un mega-incendio (Figura 10).

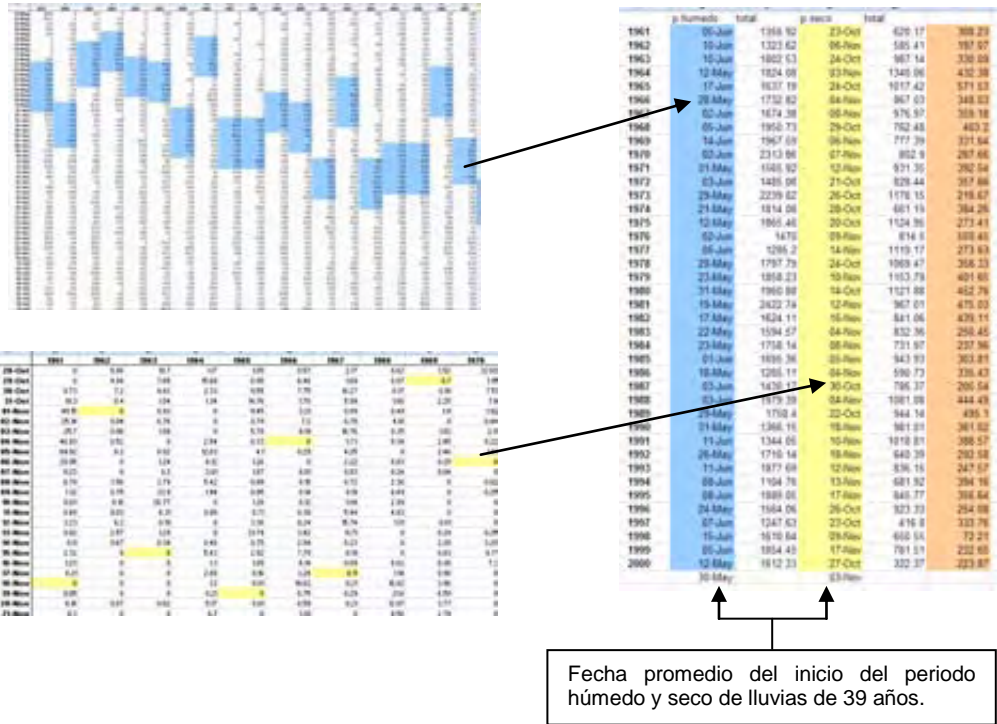


Figura 10. Cálculo de las fechas de inicio de los periodos húmedos y secos promedio.

Posteriormente se obtuvo la lluvia acumulada en los PHP, PS y PS2 relativos al año donde ocurrió cada mega-incendio (Figura 11).

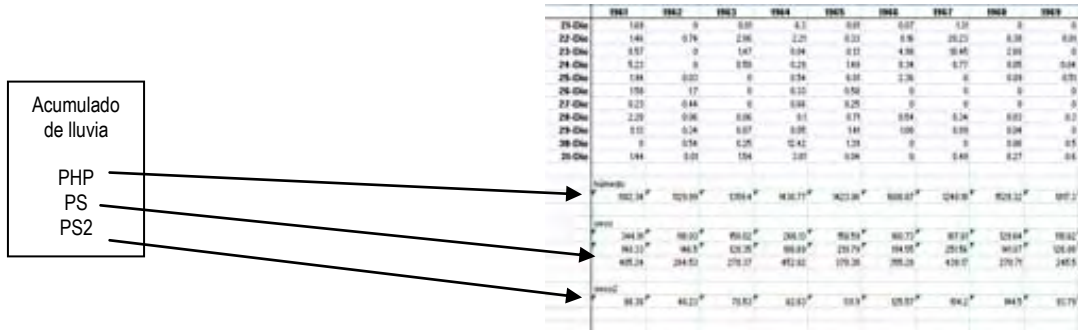


Figura 11. Cálculo de los acumulados de lluvia en el PHP, PS y PS2.

Para obtener el grado de severidad de la sequía meteorológica (sequía que se define comparando la precipitación de un lugar y momento concreto con la precipitación media de ese lugar para un periodo de tiempo muy largo [Moneo, 2008]), se estimó la gravedad de la sequía por medio del cálculo del déficit en los acumulados de lluvia de los periodos mencionados. Se utilizó el método de los deciles, el cual es una técnica estadística basada en las frecuencias acumuladas [tresproblemas.sdsu.edu] y desarrollada por Gibbs

(1987). Los deciles se definen como los nueve valores que dividen a una serie de datos en diez partes iguales; el primer decil, se explica como aquella cantidad de lluvia que no es excedida por el 10% del total de la serie, de igual manera se explican el resto de los deciles. Los deciles se clasificaron en tres grupos para crear tres categorías: déficit, normal y superávit (Tabla 1).

Tabla 1. Categoría de severidad de los periodos secos

Categoría	Deciles
Déficit	1-4
Normal	5-7
Superávit	8-10

Cada suma o acumulado fue clasificado y sólo se contemplaron las categorías de los PHP, PS y PS2 de cada mega-incendios (Figura 12).

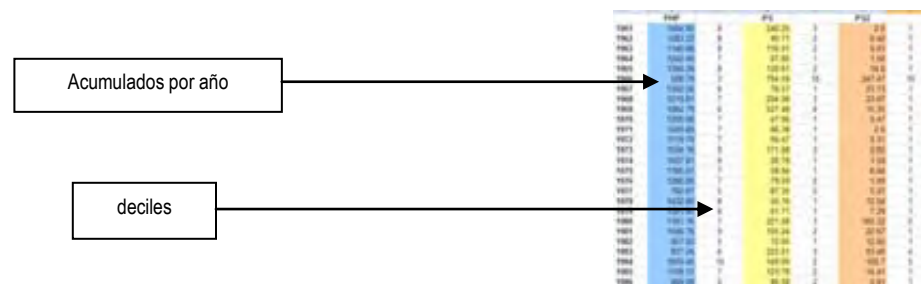


Figura 12. Clasificación de los acumulados según los deciles.

Por otro lado, se afirma que la presencia de los incendios se ve favorecida por el retraso en la temporada de las lluvias. Por ejemplo, en Durango se reporta que el ENOS determina el arribo del llamado monzón mexicano una semana más tarde de lo normal, esto determina el decremento de la humedad en la vegetación y el incremento de las probabilidades de incendios (Drury y Veblen, 2007). Para analizar el posible retraso de las lluvias en años de mega-incendios se calculó la diferencia de días entre la fecha promedio de inicio de las lluvias del periodo 1961-2000 de cada sitio y la fecha de inicio de las mismas en el año del mega-incendio estudiado. En el mismo sentido, para referirse a la aparición de las lluvias después del inicio de cada mega-incendio, se calculó para cada evento la diferencia entre el número de días transcurridos desde la fecha de inicio del fuego hasta la fecha de inicio de las lluvias.

Para analizar la duración de la sequía en los días previos y al momento del inicio del fuego y la influencia de *El Niño*, se calcularon las anomalías de precipitación y

temperatura máxima. Para ello se utilizó la secuencia de datos diaria de 1961 al 2000, posteriormente, se calcularon las anomalías de lluvia por pentadas en los meses anteriores al inicio de cada mega-incendio (Figura 13). Este método se siguió con el fin de obtener la cantidad de lluvia acumulada. La anomalía se define como:

$$Z_P = (X_{iP} - X_P) / X_P$$

Z_P = anomalía de precipitación

X_i = sumatoria de P de una pentada

X = sumatoria de una pentada dada del periodo completo

Posteriormente, se contaron los días anteriores al incendio con anomalías negativas continuas de lluvia, hasta que se presentó una anomalía positiva que rompiera con la persistencia del déficit de lluvia.

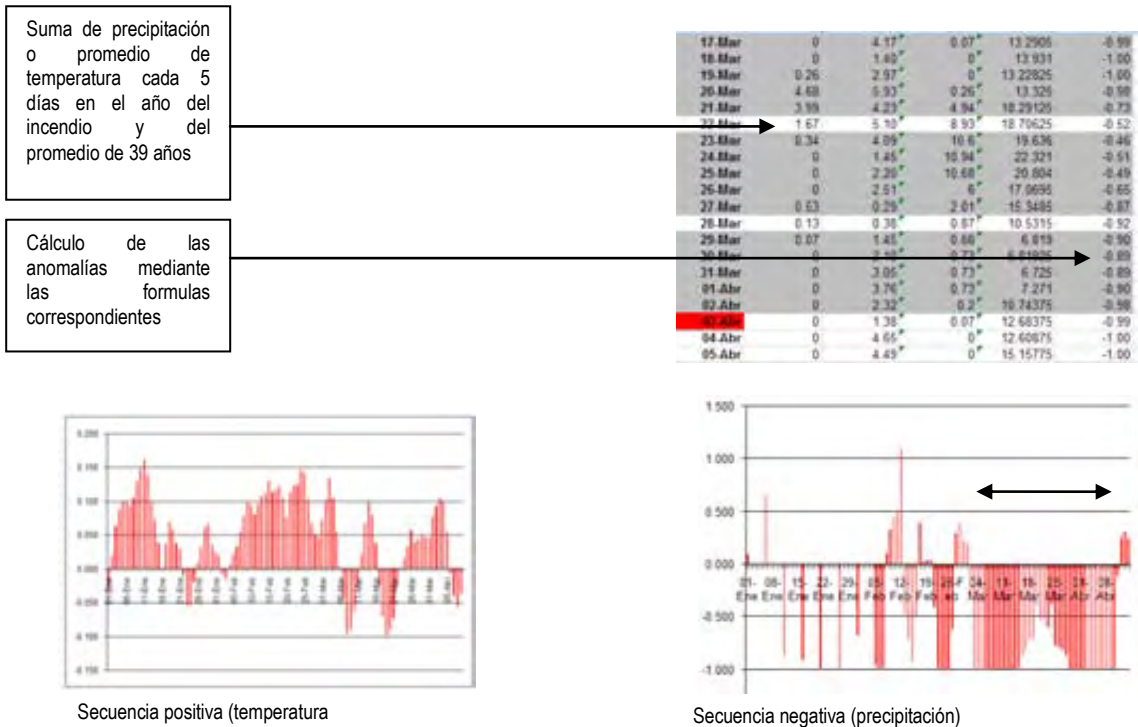


Figura 13. Cálculo de las anomalías de precipitación y temperatura.

Moritz (1997), menciona que existen diferentes elementos del clima que inducen la existencia de los grandes incendios, además de la lluvia, la temperatura incrementa el efecto de la sequía, en especial cuando se habla de temperaturas máximas (Dolling *et al.*, 2005). La temperatura regula la desecación, influye en la humedad relativa del aire y sobre la humedad de los combustibles muertos (MMA, 2007). Para analizar su influencia

en la presencia de cada incendio se calcularon las anomalías de temperatura por pentadas aplicando la siguiente fórmula:

$$Z_T = (X_{iT} - X_T) / X_T$$

Z_T = anomalía de temperatura

X_i = promedio de τ de una pentada

X = promedio de una pentada dada del periodo completo

Posteriormente se contabilizaron los días transcurridos desde el último acumulado de anomalías negativas de temperatura hasta el momento del inicio del mega-incendio (Figura 12). También, se analizó la sincronización de la presencia de anomalías. Se calculó la frecuencia de anomalías de precipitación negativas y de anomalías de temperatura positivas que se presentaron sincronizadamente en cada caso de mega-incendio, además, se cuantificó la frecuencia de eventos con sólo un tipo de anomalía, que tipo de anomalía presentaron y cuantos mega-incendios se presentaron sin ninguna anomalía.

Finalmente los años de *El Niño* fueron identificados a partir de los datos del Índice Oscilación del Sur (Tabla 2), informes de los foros de Predicción climática realizados por el Servicio Meteorológico Nacional y la consulta de literatura especializada (p.e Wolter y Timlin, 2008; NOAA, 2008b).

Tabla 2. Años de *El Niño* (sombra clara), *La Niña* (sombra oscura) y neutrales (blanco) en el período 1997-2006.

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1997	0.29	1.21	-1.09	-1.55	-2.41	-3.02	-0.91	-2.31	-1.55	-1.69	-1.31	-1.12
1998	-2.53	-1.97	-3.31	-2.8	0.17	1.05	1.49	0.83	1.04	1.01	1.01	1.32
1999	1.58	0.58	0.78	2.1	0.44	0	0.52	-0.03	-0.07	0.95	2	1.37
2000	0.47	1.24	0.88	1.76	0.42	-0.87	-0.34	0.48	0.97	0.87	2.02	0.77
2001	0.78	1	0.46	-0.18	-0.84	-0.19	-0.27	-1.01	0.11	-0.38	0.64	-1.06
2002	0.2	0.64	-0.81	-0.48	-1.54	-1.02	-0.7	-1.62	-0.66	-0.79	-0.6	-1.3
2003	-0.3	-0.9	-0.91	-0.48	-0.85	-1.75	0.26	-0.35	-0.18	-0.26	-0.32	0.92
2004	-1.31	0.77	-0.11	-1.91	1.22	-1.91	-0.72	-0.9	-0.31	-0.42	-1.05	-0.94
2005	0.2	-2.99	-0.26	-1.22	-1.46	0.11	0.06	-0.97	0.34	1.12	-0.42	0.01
2006	1.29	-0.26	1.93	1.17	-0.96	-0.98	-0.9	-1.75	-0.6	-1.52	0.05	-10

6. Resultados.

6.1 Superficie incendiada frecuencia de incendios en el periodo 1998-2006.

La superficie incendiada tuvo una gran variación interanual en los cinco estados durante el periodo 1998-2006. En 1998 el sur del país tuvo la mayor área incendiada: Oaxaca con 241,708 has. y Chiapas con 198,808 has. incendiadas (año característico por la presencia de sequía severa y el fenómeno de *El Niño* de alta intensidad; Figura 14). En el 2003 y 2005 la superficie incendiada fue menor en ambos Estados (años de *El Niño* con menor intensidad): Oaxaca con 51,708 has. y Chiapas con 49,808 has. incendiadas en 2003; sin embargo en 2005, Oaxaca tuvo 24,708 has. incendiadas y Chiapas 28,808 has. (Figura 14). El norte del país registra un patrón similar de los incendios de los Estados del sur: en 1998 Durango y Tamaulipas presentaron la mayor superficie incendiada de los nueve años analizados, sin embargo, la superficie afectada total por estado no supera las 70,000 has. afectadas, pero en 2003 y 2005 la superficie incendiada decreció significativamente (Figura 6). En Chihuahua los incendios tuvieron un patrón contrastante: en 1999 ocurrió la mayor área afectada (49,375 has. incendiadas), le sigue el 2000 (28,177 has.) y 1998 (27,502 has; Figura 14).

Los incendios en los estado del sur como Oaxaca y Chiapas afectan una mayor cantidad de hectáreas en los años de *El Niño* como 1998, 2003 y 2005 que en años de no *El Niño*. En cambio al norte, la variabilidad en la intensidad de *El Niño* no se relaciona a una mayor superficie incendiada.

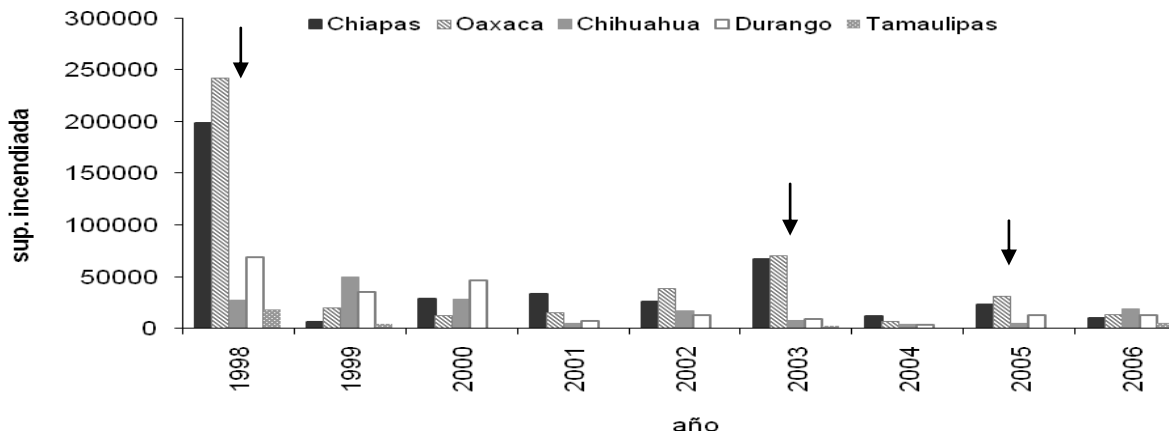


Figura 14. Superficie afectada por año en cada estado analizado. Las flechas señalan los años de *El Niño*. Las flechas señalan los años de *El Niño*. Las flechas indican los años con presencia de *El Niño*.

El número de incendios comúnmente se utiliza para caracterizar los regímenes de incendios en escalas geográficas amplias. La frecuencia de incendio no tuvo una marcada diferencia entre los estados del sur y norte del país. En el sur no se aprecia un efecto claro de *El Niño* sobre la frecuencia de incendios, sólo uno de los estados presenta la mayor frecuencia de incendios en 1998 (Figura 15). Por otro lado, en el norte, dos de los tres estados presentaron mayor frecuencia de incendios en los años 1998, 1999 y 2000. El mayor número de incendios en todas las temporadas del periodo 1998-2006 se presenta en Chihuahua, con 1,476 incendios en 1999, mientras que Tamaulipas es el estado con menor cantidad de incendios con sólo 11 eventos en el 2004 (Figura 15).

La frecuencia de los incendios al contrario de la superficie afectada, no se sincroniza con las fases intensas de *El Niño* en los años 1998, 2003 y 2005 no presentan alta frecuencia de incendios (Figura 15). No obstante, las altas frecuencias en el norte de 1998 al 2000 se relacionan al efecto diferencial de *El Niño* en el espacio.

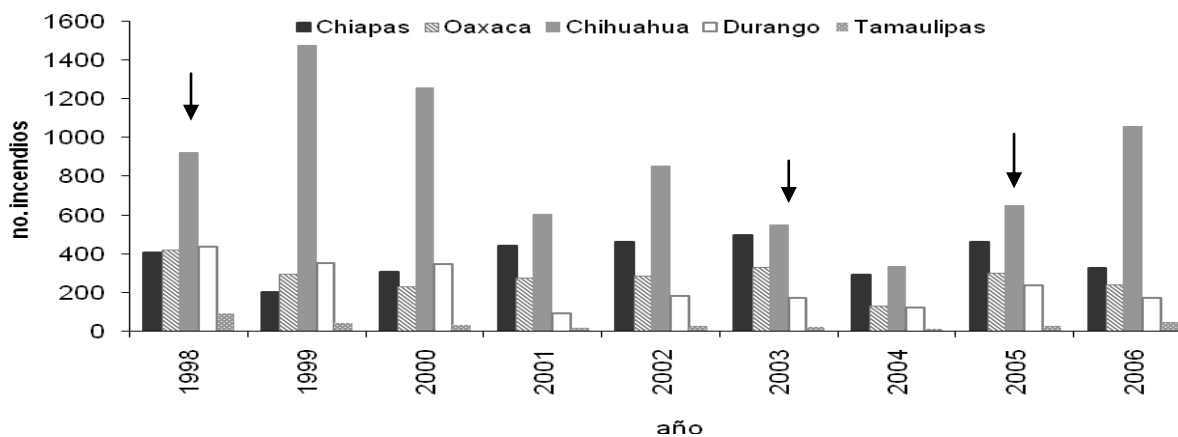


Figura 15. Número de incendios por año en cada estado analizado. Las flechas señalan los años de *El Niño*. Las flechas indican los años con presencia de *El Niño*.

Las temporadas de incendios en el periodo 1998-2006 muestran heterogeneidad respecto al tamaño de cada uno de los eventos. Los eventos más frecuentes de Chiapas, Oaxaca, Chihuahua, Durango y Tamaulipas son entre dos y diez hectáreas (5,647), le siguen aquellos eventos de más de diez y menores de 50 has. (4,726), y los menos frecuentes son los eventos mayores o iguales a 1,000 hectáreas (357; Figura 16). A pesar de que los incendios de mayor amplitud (mega-incendios) son poco frecuentes representan la afectación del 47% de la superficie incendiada total.

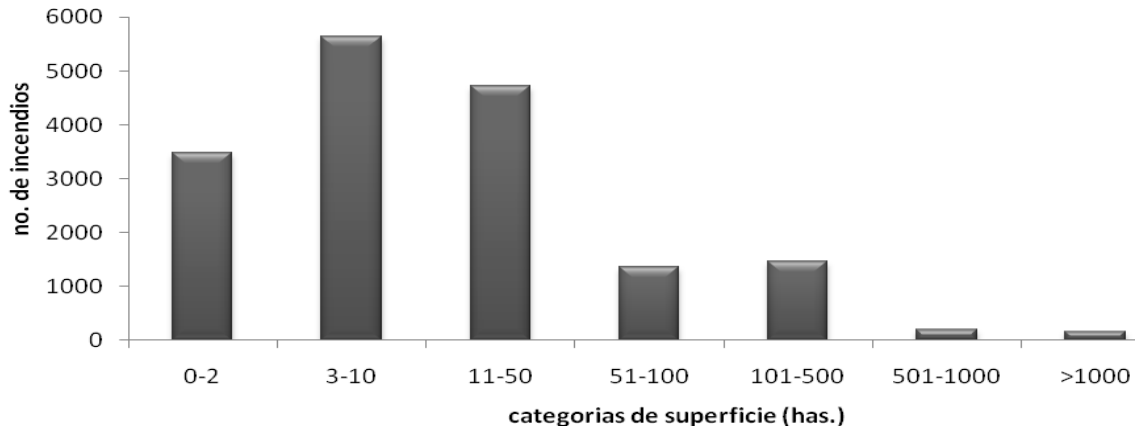


Figura 16. Frecuencia por categorías de superficie (has.), en los cinco estados analizados de 1998 al 2006.

6.2 Mega-incendios en Chiapas, Oaxaca, Chihuahua, Durango y Tamaulipas en el periodo 1998-2006.

En el presente estudio se analizaron exclusivamente los eventos de más de 1,000 has. Los incendios con superficie afectada a partir de este tamaño son de alta intensidad (Beverly y Martell, 2005). La dinámica de los mega-incendios difiere de las de aquellos de poca superficie, las cuales las cuales juegan un importante papel en el funcionamiento de los ecosistemas como contribuir a la existencia de diversidad en el paisaje o la persistencia de especies. El tamaño de un incendio de 1,000 has. es ligeramente mayor a la superficie total de la Ciudad Universitaria de la Universidad Nacional Autónoma de México, la cual tiene una superficie de 730 has.

Se analizó el 53% de los mega-incendios ocurridos en el estado de Chiapas, el 49% en Oaxaca, 67% en Chihuahua, el 75% en Durango y el 83% en Tamaulipas (Tabla 3), debido a que la base de datos no siempre incluye la información necesaria para localizar y georreferenciar a todos los incendios. La calidad de la base de datos en el norte es mayor (especialmente en años recientes), por ello fue posible analizar una mayor proporción de eventos en esa región (Tabla 3). En el norte, la mayor parte de los datos cuentan con coordenadas geográficas, lo que permite análisis posteriores de los sitios exactos donde ocurrieron los mega-incendios.

Tabla 3. *Mega-incendios*

	Chiapas	Oaxaca	Chihuahua	Durango	Tamaulipas
Número total de incendios	3,393	2,463	8,980	1,882	305
Incendios > 1,000 hectáreas	51	76	12	20	6
Número de eventos analizados	27	37	8	15	5
% de eventos analizados	53	49	67	75	83

6.2.1 Frecuencia anual de mega-incendios por estado.

Los mega-incendios analizados se distribuyeron heterogéneamente en el espacio, sin embargo existen similitudes entre los cinco estados. Por ejemplo, en Chiapas y Oaxaca tienen la mayor frecuencia de mega-incendios en 1998 (88), seguidos de 2003 (14) y 2005 (8; Tabla 4). Estos años se distinguen por la presencia de *El Niño* intenso en 1998, pero de intensidad moderada en 2003 y 2005. En las entidades del norte (Chihuahua, Durango y Tamaulipas) la frecuencia de los mega-incendios es menor que en el sur. En 1998, se registra el mayor número de incendios (21), le sigue 1999 (8; Tabla 4). Los resultados indican que en ambas regiones la mayor frecuencia se relaciona con la presencia de *El Niño* intenso (1998), sin embargo, en años del fenómeno con menor intensidad la frecuencia es variable: en el sur la sincronización es constante en 2003 y 2005, mientras que en el norte la presencia de los mega-incendios es casi nula después de 1999 (Tabla 4).

Los mega-incendios no solo se presentan en años de *El Niño* en el norte y sur del país, también se presentan cuando este fenómeno está ausente pero con baja frecuencia como en 1999, 2000, 2001, 2002, 2004, 2006 (Tabla 4). Asimismo, los mega-incendios se manifiestan en todos los años analizados pero no en todas las entidades, en el sur (Oaxaca y Chiapas) se presentan casi todos los años, excepto en 2004; y en el norte (Chihuahua, Durango y Tamaulipas) sólo el año 2001 no presenta mega-incendios (Tabla 4). Cabe mencionar que en la Tabla 4 se toma en cuenta a todo los incendios registrados por Conafor en las entidades analizadas, sin embargo, la cantidad total de mega-incendios analizados disminuye por la falta de datos para ubicar espacialmente a todos los eventos.

Tabla 4. Distribución anual de los mega-incendios por estado

	Chiapas	Oaxaca	Chihuahua	Durango	Tamaulipas
1998	29	59	1	15	5
1999	0	3	5	3	0
2000	4	1	2	1	0
2001	3	0	0	0	0
2002	0	5	1	0	0
2003	11	3	1	0	0
2004	0	0	1	0	0
2005	3	5	0	1	0
2006	1	0	1	0	1

6.2.2 Distribución estacional de los mega-incendios.

Los datos analizados indican que la distribución temporal de los mega-incendios está acotada a los meses de la temporada de sequía en México (febrero a junio). En el sur (Chiapas y Oaxaca) los mega-incendios ocurren de febrero a mayo, no obstante, abril es el mes de mayor frecuencia (Figura 17). En contraste, en el norte, los mega-incendios también se presentan durante un periodo de cuatro meses, empezando un mes más tarde que en el sur, ya que se presentan de marzo a junio, y mayo es el mes de mayor frecuencia de incendios (Figura 17).

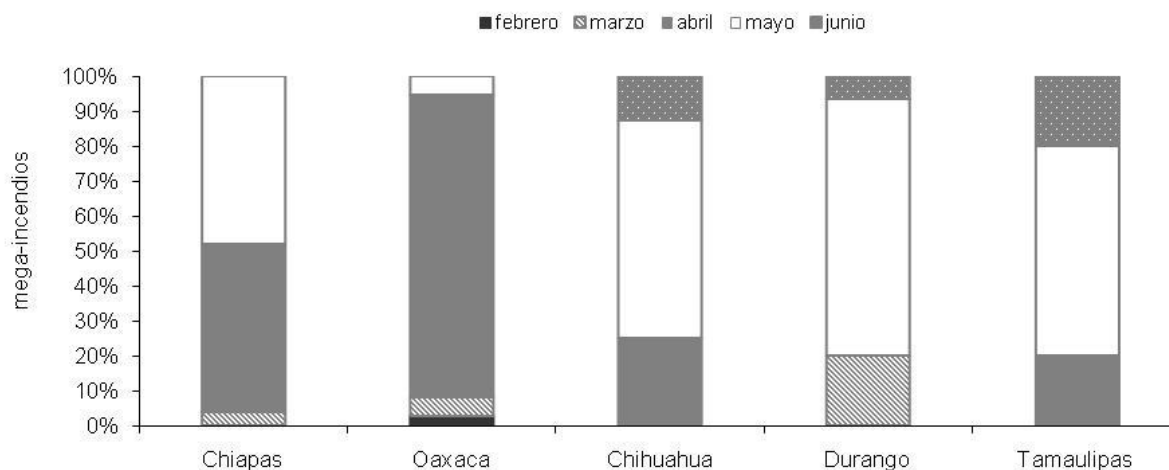


Figura 17. Distribución temporal de los mega-incendios por mes en cada uno de los estados analizados.

6.2.3 Tamaño promedio, máximo y mínimo de los mega-incendios.

El tamaño promedio de los mega-incendios fue mayor en los estados del sur: en Oaxaca el tamaño promedio fue de 3,490 has. incendiadas y en Chiapas de 2,510, mientras que en los estados del norte el tamaño promedio fue alrededor de las 2,000 has.

incendiadas (Figura 18). Esto indica la presencia de condiciones particulares en cada región que derivan en variaciones en la amplitud de los mega-incendios.

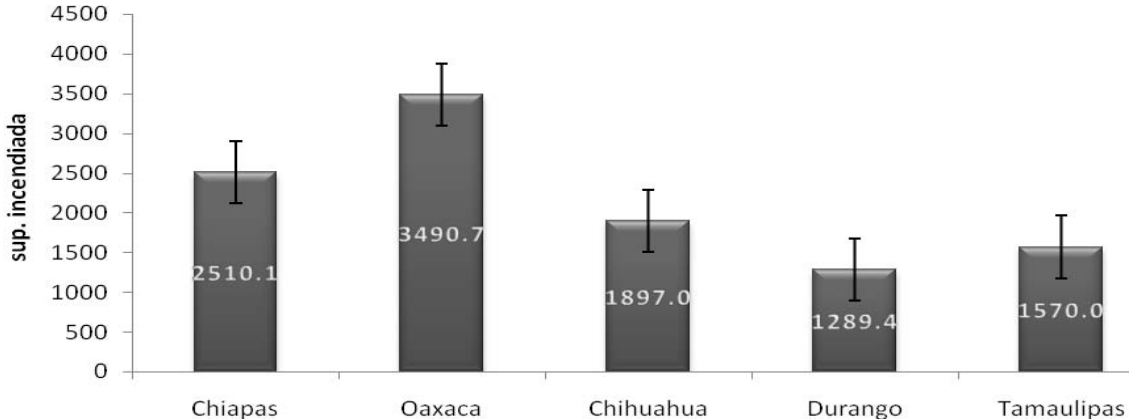


Figura 18. Tamaño promedio de los incendios en cada uno de los estados analizados.

El tamaño máximo de los incendios indica que nuevamente los estados del sur se distinguen en magnitud de los del norte; en Chiapas, la superficie máxima registrada por un evento es de 18,000 has. este mega-incendio se localizó en la reserva El Ocote, mientras que, en Oaxaca hubo un evento con 11,900 has. incendiadas en la comunidad Santa Ana Tavela (Figura 19); en contraste, el norte presenta mega-incendios de 3,200 has. como máximo (Figura19). En todo los casos el tamaño mínimo registrado de los incendios fue de 1,000 has. (criterio de selección). Debido a que en algunos casos no fue posible establecer la comunidad donde se presentaron algunos eventos no se incluyó en el análisis a todos los mega-incendios (Tabla 3), pero es importante indicar que se tienen registros de eventos de hasta 52,000 has.

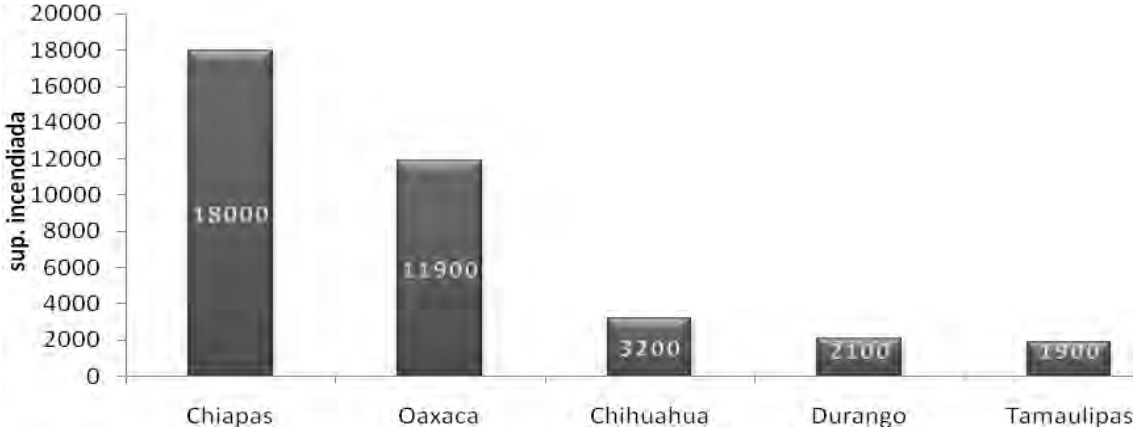


Figura 19. Tamaño máximo de los incendios en cada estado analizado. Periodo 1998-2006.

6.2.4 Causas de los mega-incendios.

Entre las causas principales de los incendios en Chiapas y Oaxaca (según la Conafor) se reportan: actividades agropecuarias y causas no determinadas, también existen mega-incendios iniciados por fumadores, litigios (principalmente por la tenencia de la tierra) y rencillas (Figura 20).

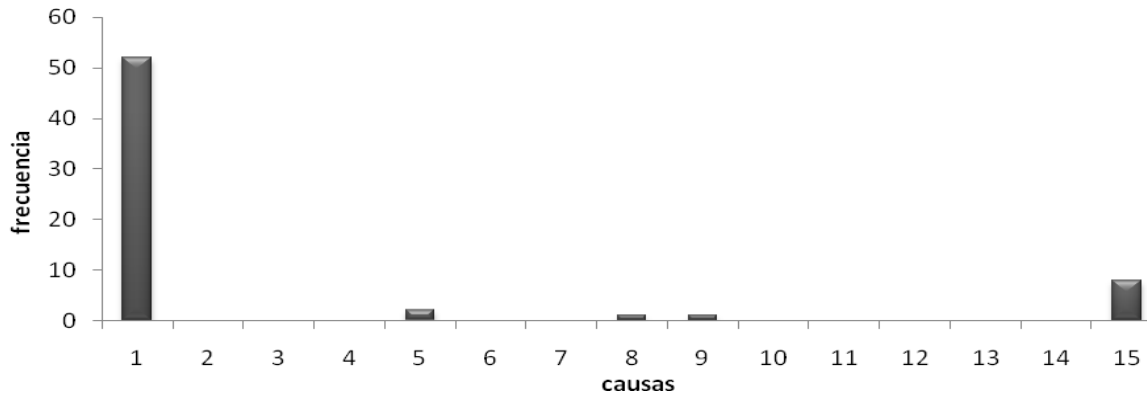


Figura 20. Número de incendios en el sur por causa. 1. actividades agropecuarias, 2. Actividades forestales, 3. Actividades forestales, 4. Limpia por derechos de vía, 5. Fumadores, 6. Fogatas, 7. Quema de basura, 8. Litigios, 9. Rencillas, 10. Aprovechamiento forestal, 11. Cacería furtiva, 12. Descargas eléctricas, 13. Cultivos ilícitos, 14. Ferrocarril, 15. Causas no determinadas. Fuente: Conafor, 2007.

Las causas de los mega-incendios en el norte fueron quemas realizadas en el marco de actividades agropecuarias y actividades forestales, también hubo incendios provocados por fumadores, fogatas de paseantes, quema de basura y cultivos ilícitos, no obstante la causa principal de los mega-incendios en la región no fue determinada (Figura 21).

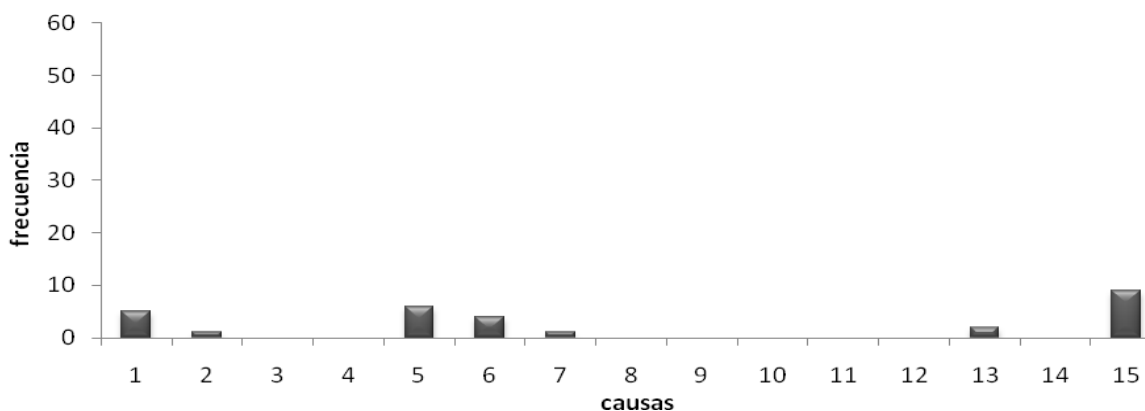


Figura 21. Número de incendios en el norte por causa. 1. actividades agropecuarias, 2. Actividades forestales, 3. Actividades forestales, 4. Limpia por derechos de vía, 5. Fumadores, 6. Fogatas, 7. Quema de basura, 8. Litigios, 9. Rencillas, 10. Aprovechamiento forestal, 11. Cacería furtiva, 12. Descargas eléctricas, 13. Cultivos ilícitos, 14. Ferrocarril, 15. Causas no determinadas. Fuente: Conafor, 2007.

Las causas de los incendios fueron variables al norte y al sur de México, principalmente porque el sur registra 7 causas principales, mientras que el norte contempla el inicio de los mega-incendios por cinco causas (Figuras 20 y 21). A diferencia de los estados del sur, en el norte la frecuencia de los incendios originados por actividades agrícolas y pecuarias es menor, y no es la causa más importante, pero muchos de los mega-incendios de ambas regiones se definen por causas desconocidas (Figuras 20 y 21).

Los resultados indican que la mayor parte (90%) de los mega-incendios se produjeron a partir de igniciones realizadas intencionalmente por el ser humano. Este fenómeno es similar a las causas del fuego en México, donde se deben principalmente a quemas practicadas en la agricultura y la ganadería (Eastmond y Faust, 2004). En ninguna de las regiones existe algún incendio originado por causas no antrópicas. En las bases de datos originales de Conafor solo mencionan a las descargas eléctricas como fuente de la ignición de los incendios, las cuales se relacionan con la variabilidad de tiempo y del clima. Pero los mega-incendios no son generados por tales fenómenos, por tanto, el origen o ignición de los mega-incendios están poco relacionadas a la variabilidad climática. Sin embargo, más adelante se explica como la propagación del fuego, una vez que ya existe, si esta relacionada al clima.

Los resultados indican que las causas de los mega-incendios no difieren entre años en ninguna de las regiones, esto indica que el origen de los incendios no está determinado por el fenómeno de *El Niño* ni a la intensidad del mismo. Por otro lado, como al momento de la ignición no se sabe si un evento se presentará como un incendio regular o se desarrollará hasta convertirse en un mega-incendio, probablemente las condiciones que influyen en la expansión de los incendios si están relacionadas a la variabilidad del clima provocada por fenómenos climáticos como *El Niño*.

6.2.5 Tipo de vegetación y uso de suelo afectado.

En el estado de Chiapas se analizaron 27 de los 51 mega-incendios (Tabla 2). Los eventos ocurridos en 1998 se distribuyeron en la meseta central del estado, la región del Soconusco, y la Sierra Madre de Chiapas, la cual, presenta el mayor número de mega-incendios (17; Mapa 1). En el periodo del 2000-2005, los incendios se presentan regularmente al sur y al oeste de la entidad (Mapa 1). En Oaxaca se analizaron 38 de los 76 mega-incendios efectivos, los incendios en 1998 (30) (Mapa 2) se distribuyen en la Sierra Madre del Sur, los Valles Centrales y el Istmo, esta última es la más afectada

(Mapa 2). Los escasos mega-incendios de 1999 al 2003 se distribuyen en la zona central del estado (Mapa 2).

Entre los tipos de vegetación afectados en el sur, se incluyen al bosque de pino, bosque de encino, bosque de pino-encino, bosque de encino-pino (especies de bosque templado); bosque mesófilo de montaña, selva alta y mediana perennifolia, selva baja caducifolia (especies de bosque tropical), zona agrícola y pecuaria, pastizal, y algunos de ellos con vegetación secundaria (Figura 22). El bosque de pino-encino fue el más afectado por los mega-incendios (20), seguido por la selva alta y mediana perennifolia (15; Figura 22). Cabe mencionar que cuando los incendios se presentan no afectan un solo tipo de vegetación si no que afectan varios tipos al mismo tiempo, por ello un solo mega-incendio puede ser sumado en varios tipos de vegetación a la vez, debido a esto las frecuencias pueden ser mayores al total de mega-incendios registrados.

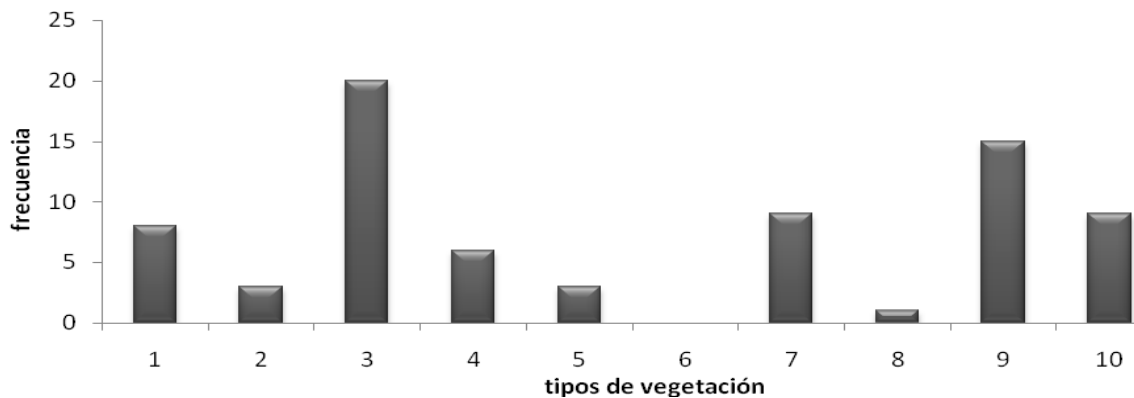


Figura 22. Número de mega-incendios en el sur (Chiapas y Oaxaca) por tipo de vegetación. 1. Bosque de pino, 2. Bosque de encino, 3. Bosque de pino-encino, 4. Bosque de encino-pino, 5. Bosque mesófilo de montaña, 6. Matorral xerófilo, 7. Zona agrícola y pecuaria, 8. Pastizal, 9. Selva alta y mediana perennifolia, 10. Selva baja caducifolia.

Mapa 1. Distribución espacial y temporal de los mega-incendios en Chiapas de 1998 al 2006.

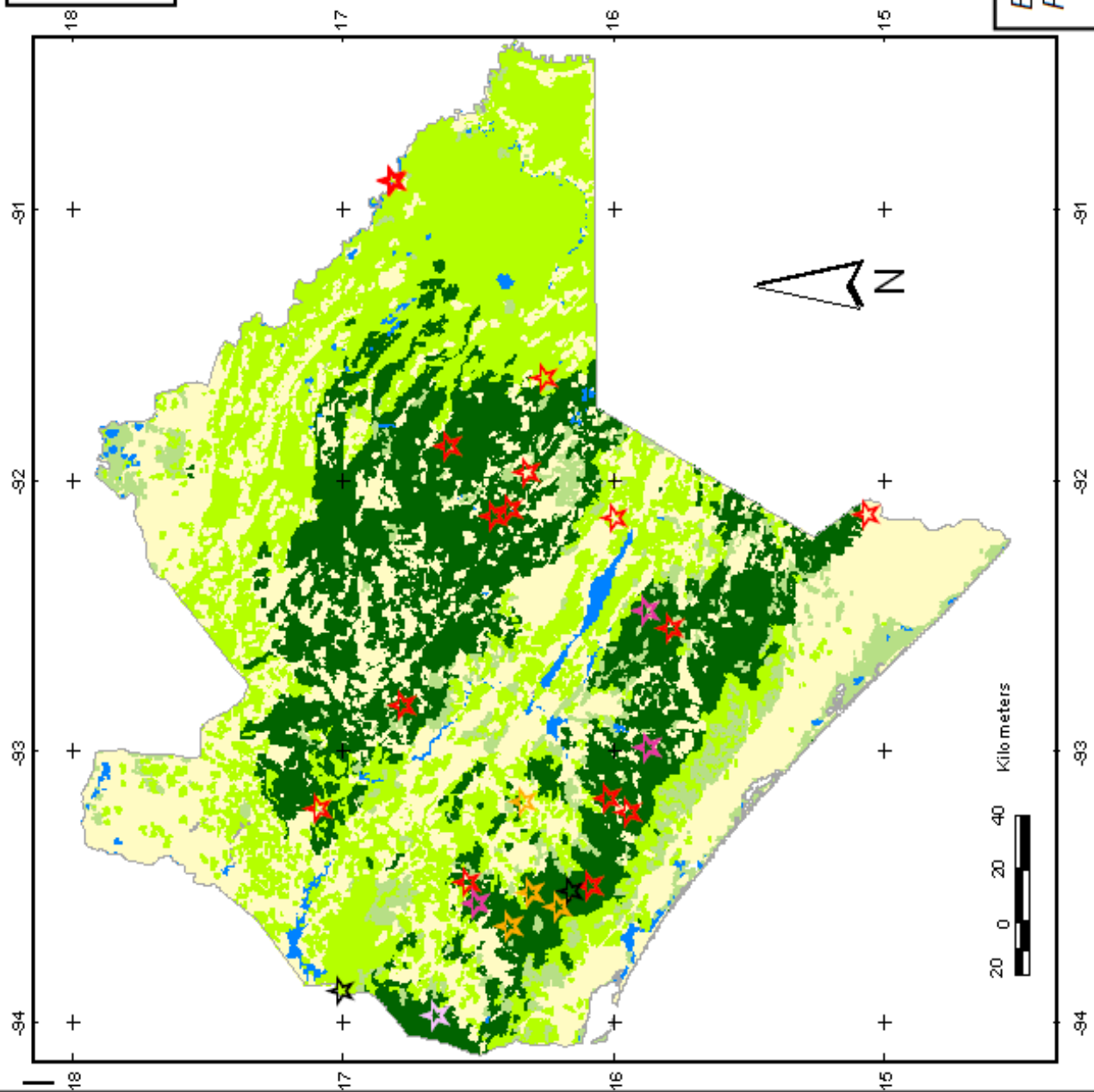
Leyendas

Tipo de vegetación

- Bosque Templado
- Bosque tropical
- Pastizal, matorral, plantaciones y otro tipo de vegetación
- Actividades agrícolas
- Area sin vegetación
- Cuerpo de agua
- Limite estatal

Mega-incendios por año

- ★ 1998
- ★ 1999
- ★ 2000
- ★ 2001
- ★ 2002
- ★ 2003
- ★ 2005



Elaboró: Laura M. González Rmz.
Fuente: Conafor, Inegi, Conabio.

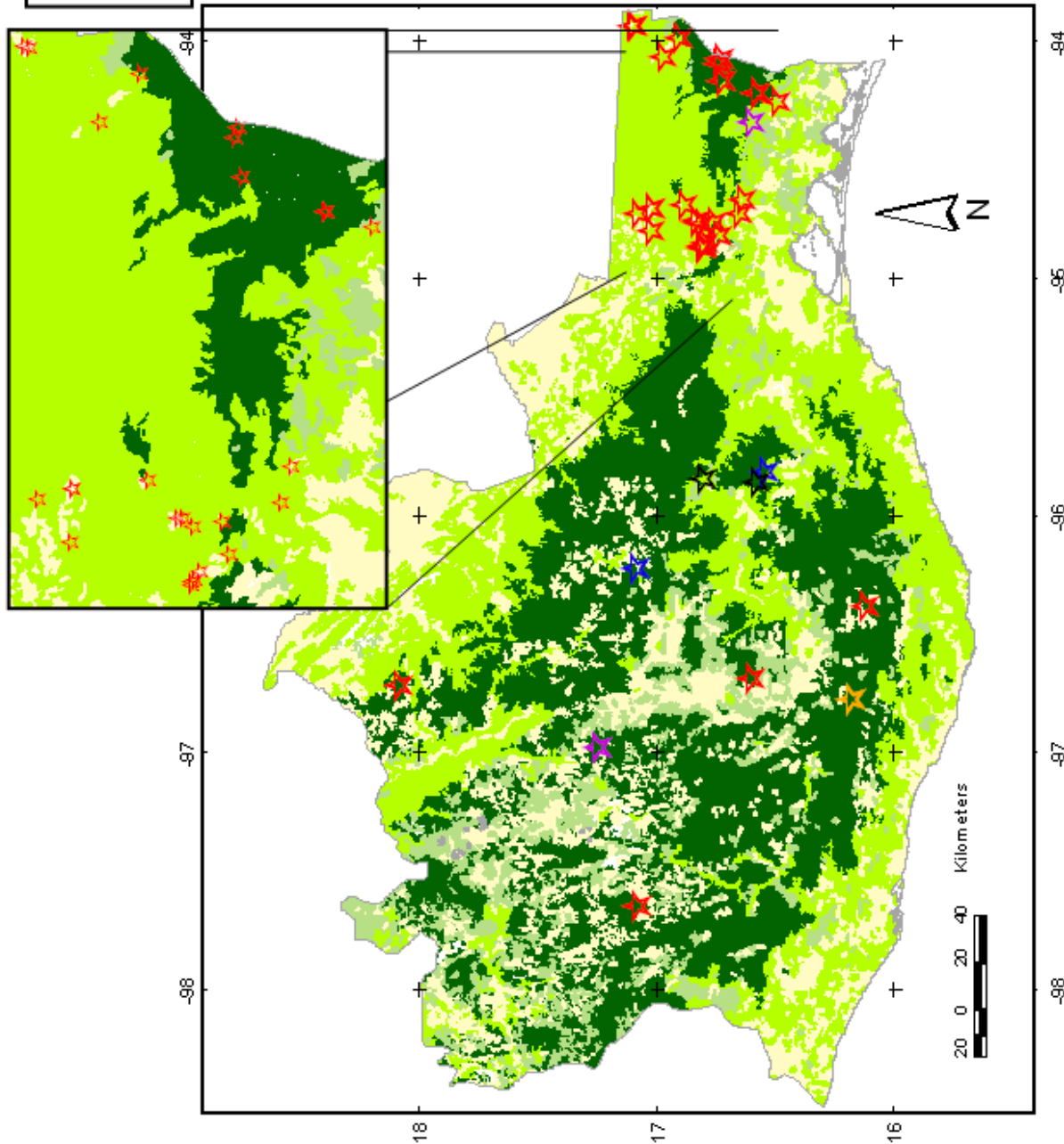
Mapa 2. Distribución espacial y temporal de los mega-incendios en Oaxaca de 1998 al 2006.

Leyendas

- Tipo de vegetación**
- Bosque Templado
 - Bosque tropical
 - Pastizal, matorral, plantaciones y otro tipo de vegetación
 - Actividades agrícolas
 - Área sin vegetación
 - Cuerpo de agua
 - Limite estatal

Mega-incendios por año

- 1998
- 1999
- 2000
- 2001
- 2002
- 2003
- 2005



Elaboró: Laura M. González.
Fuente: Conafor, Inegi, Conabio.

El número de mega-incendios fue considerablemente menor en el norte. En Chihuahua se analizaron 8 de los 12 mega-incendios registrados en 9 años (Tabla 2), el año de mayor frecuencia de incendios fue 1999 (5) y se distribuyeron al oeste en áreas forestales cercanas a los límites con Sonora (Mapa 3). En Durango se analizaron 15 de 20 mega-incendios (Tabla 2); la mayor parte se presentó en 1998 y se localizaron en la Sierra Tarahumara, y en la Sierra Espinazo del Diablo (Mapa 4). Finalmente, se analizaron 5 de 6 mega-incendios en Tamaulipas (Tabla 2), en 1998 se distribuyeron al suroeste, cerca de los límites con Nuevo León, en Sierra Grande, El Duraznillo y la Sierra Madre Oriental (Mapa 5). La vegetación afectada por el fuego en el norte se concentró en bosques templados: bosque de pino, bosque de encino, bosque de pino-encino, bosque de encino-pino, uso de suelo agropecuario, bosque mesófilo de montaña, matorral xerófilo y pastizales (Figura 23).

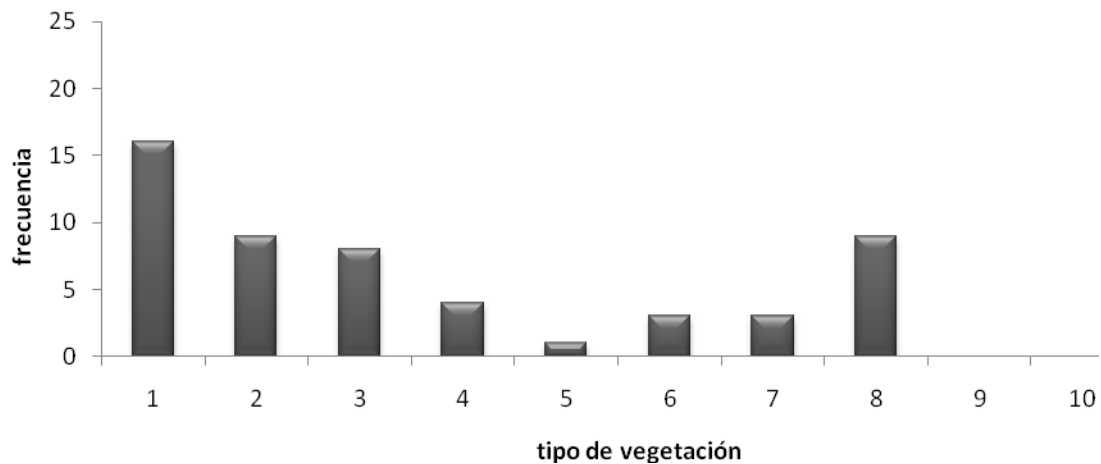


Figura 23. Número de mega-incendios en el norte (Chihuahua, Durango y Tamaulipas) por tipo de vegetación. 1. Bosque de pino, 2. Bosque de encino, 3. Bosque de pino-encino, 4. Bosque de encino-pino, 5. Bosque mesófilo de montaña, 6. Matorral xerófilo, 7. Zona agrícola y pecuaria, 8. Pastizal, 9. Selva alta y mediana perennifolia, 10. Selva baja caducifolia

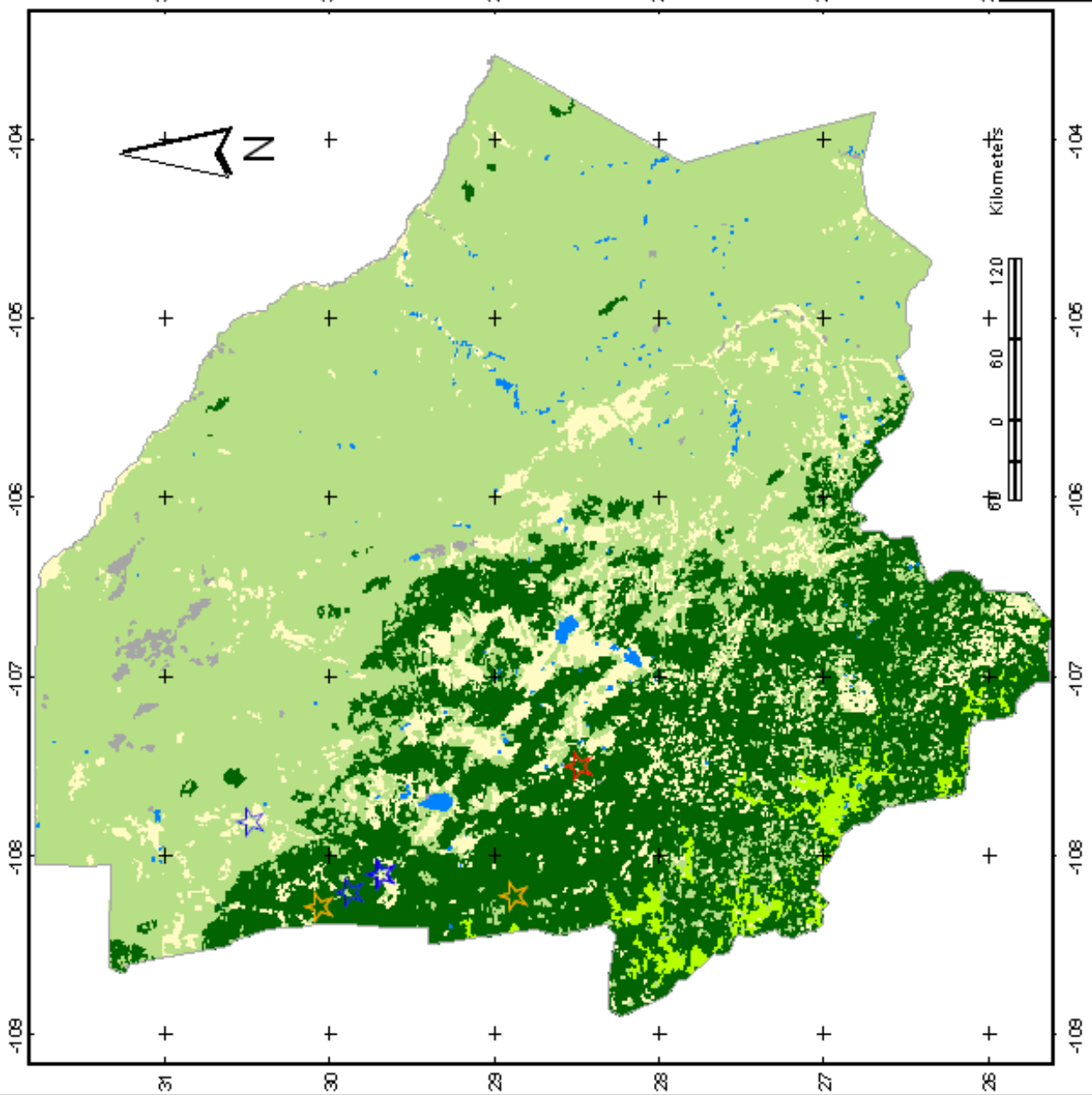
Mapa 3. Distribución espacial y temporal de los mega-incendios en Chihuahua de 1998 al 2006.

Leyendas

- Tipo de vegetación**
- Bosque Templado
 - Bosque tropical
 - Pastizal, matorral, plantaciones y otro tipo de vegetación
 - Actividades agrícolas
 - Área sin vegetación
 - Cuerpo de agua
 - Limite estatal

Mega-incendios por año

- ★ 1998
- ★ 1999
- ★ 2000
- ★ 2001
- ★ 2002
- ★ 2003
- ★ 2005



Elaboró: Laura M. González
Fuente: Conafor, Inegi, Conabio.

Mapa 4. Distribución espacial y temporal de los mega-incendios en Durango de 1998 al 2006.

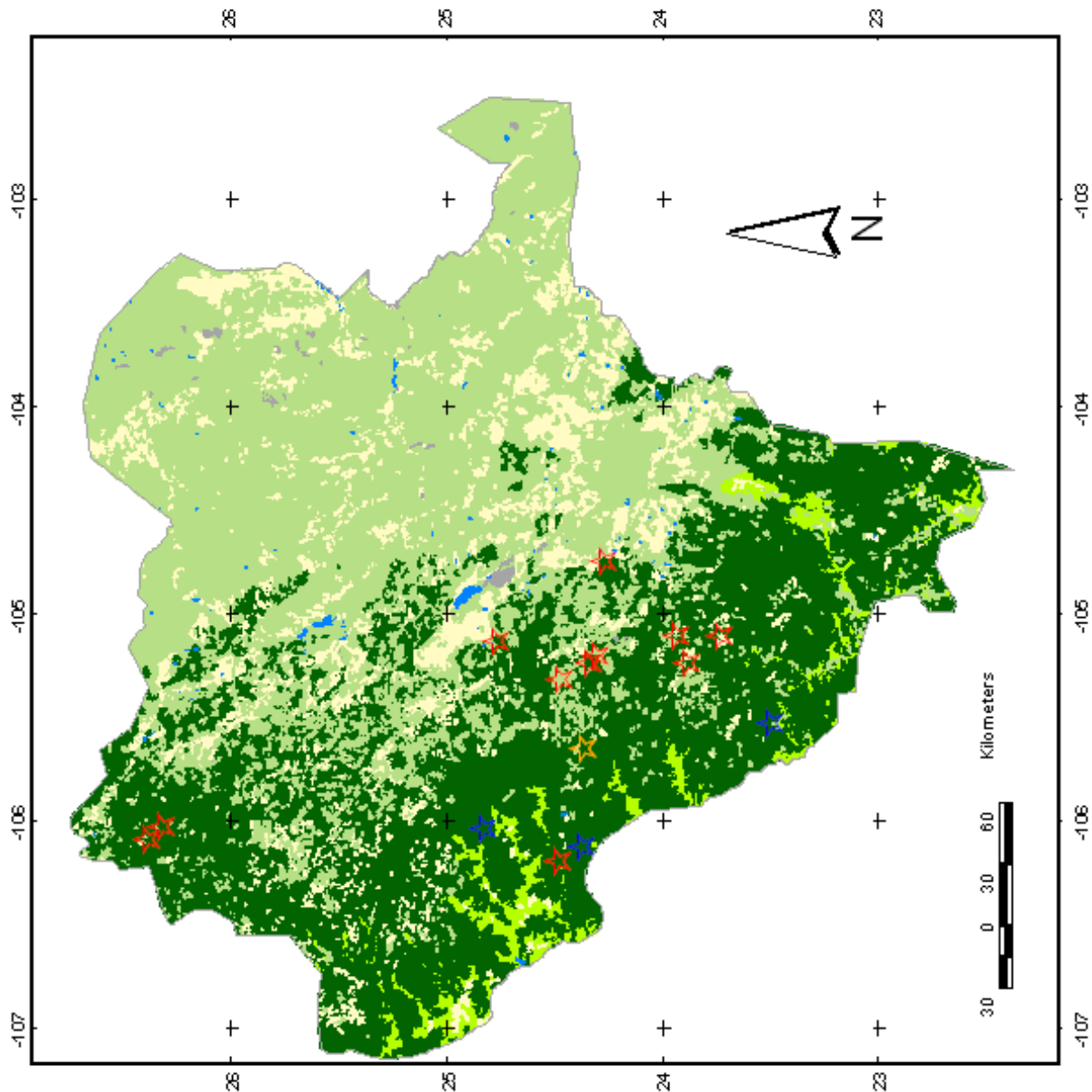
Leyendas

- Tipo de vegetación**
- Bosque Templado
 - Bosque tropical
 - Pastizal, matorral, plantaciones y otro tipo de vegetación
 - Actividades agrícolas
 - Área sin vegetación
 - Cuerpo de agua
 - Limite estatal

Mega-incendios por año

- 1998
- 1999
- 2000
- 2001
- 2002
- 2003
- 2005

Elaboró: *Laura M. González*
Fuente: *Conafor, Inegi, Conabio.*



Mapa 5. Distribución espacial y temporal de los mega-incendios en Tamaulipas de 1998 al 2006.

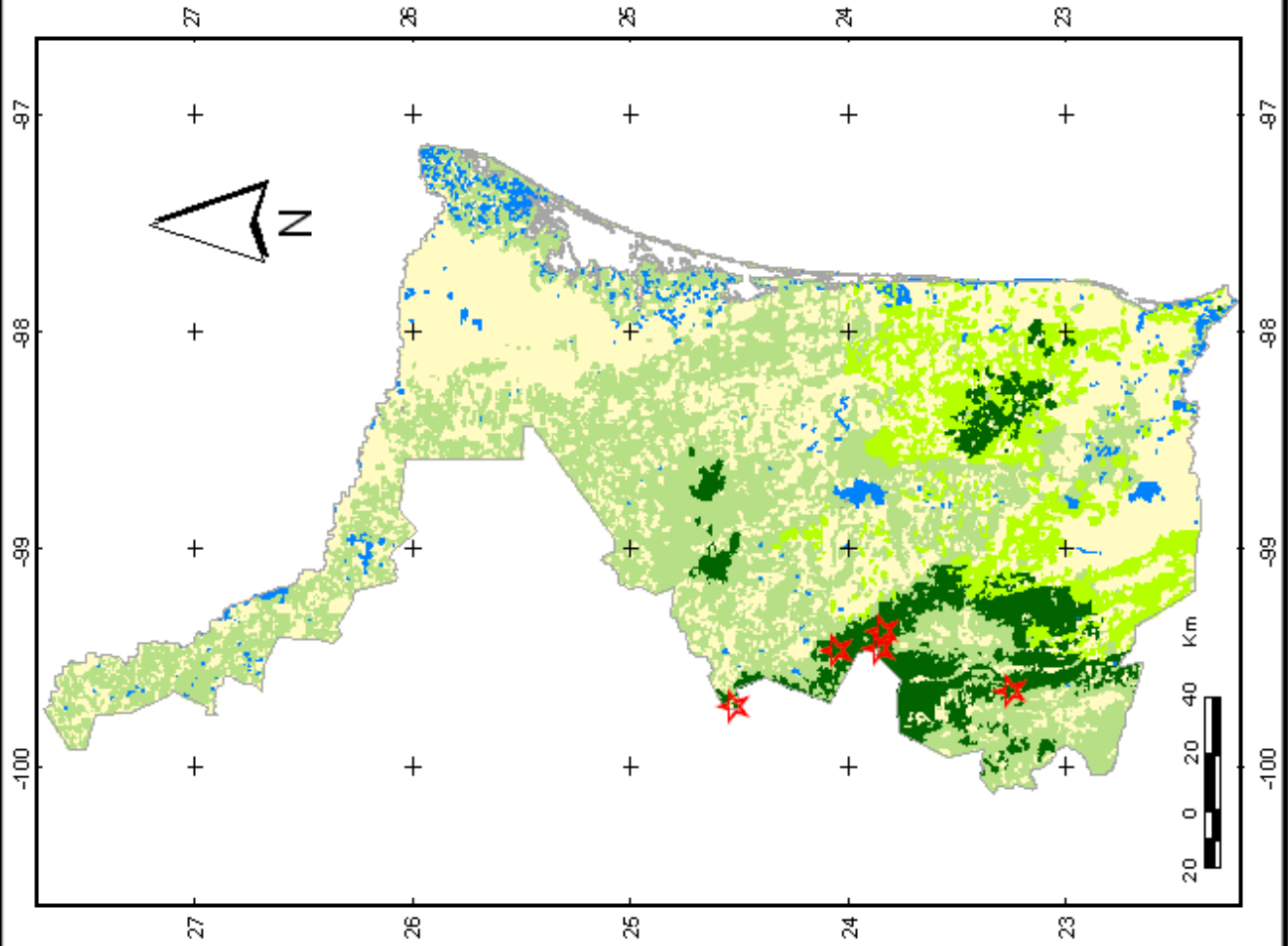
Leyendas

- Tipo de vegetación**
- Bosque Templado
 - Bosque tropical
 - Pastizal, matorral, plantaciones y otro tipo de vegetación
 - Actividades agrícolas
 - Área sin vegetación
 - Cuerpo de agua
 - Limite estatal

Mega-incendios por año

- ★ 1998
- ★ 1999
- ★ 2000
- ★ 2001
- ★ 2002
- ★ 2003
- ★ 2005

Elaboró: Laura M. González
Fuente: Conafor, Inegi, Conabio.



Los estados del sur presentan una mayor frecuencia de mega-incendios que en el norte del país (Mapas 1, 2, 3, 4 y 5). En el sur, se presenta la mayor frecuencia de incendios en años de *El Niño*, (1998, 2003 y 2005). En cambio el norte, aunque se caracteriza por tener la frecuencia más alta de mega-incendios en 1998, no presenta frecuencias significativas en los años 2003 y 2005. Esto implica condiciones similares de sequía en 1998 (año de *El Niño* intenso) al norte y al sur del país, sin embargo, este escenario es diferente en años con fenómeno de *El Niño* débil (2003 y 2005).

En el sur los bosques templados y los bosques tropicales son afectados por los mega-incendios, no obstante en los años de *El Niño* intenso, los mega-incendios se incrementan en los bosques tropicales. En cambio en el norte, no se presenta tal variabilidad, pues los mega-incendios se concentran predominantemente en el ecosistema formado por las especies del bosque templado. Al contrario de lo que ocurre en un régimen regular de incendios donde las áreas de mayor frecuencia de incendios y de superficie afectada son las zonas de uso agrícola y pecuario, al norte y al sur de México, las áreas forestales son las más afectadas por mega-incendios.

Cabe mencionar que aunque se menciona que los mega-incendios se presentan en determinado tipo de vegetación, en muchos de los casos el fuego afecta distintos estratos como pastos, pastizales, renuevo y arbolado adulto; además, muchos de los incendios se originan en áreas dedicadas a las actividades agropecuarias y posteriormente se extienden en las áreas forestales aledañas.

6.3 Análisis de precipitación.

6.3.1 Periodo Húmedo Previo.

Los informes después de la temporada intensa de incendios de 1998 indican condiciones ambientales críticas debido a varios factores, uno de ellos fue la existencia de “copiosas lluvias en 1997 que dieron lugar a la acumulación de biomasa” (PUMA, 1999). Estas lluvias favorecieron la disponibilidad de humedad en el ambiente; la cual a su vez fomentó el desarrollo de la vegetación y la acumulación de biomasa, la cual a su vez fue afectada por la sequía inducida por *El Niño* en la primavera de 1998, y esto significó el aumento de combustible disponible para los incendios, dando lugar a grandes incendios.

Para analizar la influencia la lluvia del verano anterior en los sitios con mega-incendios se analizó la lluvia acumulada del Periodo Húmedo Previo (PHP; Figura 5). La precipitación en cada sitio fue monitoreada con el método de los deciles. Los deciles del 1 al 10 indican valores del 10%, 20%, 30% etc., de lluvia acumulada en un periodo. Los deciles funcionan como un indicador de la situación de las condiciones de sequía, normalidad o exceso de lluvia. Los PHP en Chiapas y Oaxaca registran cantidades normales de lluvia, en 1998 los deciles 5, 6 y 7 tiene frecuencias de 8, 15 y 18, respectivamente, otros años con cantidades normales fueron 2000, 2001, 2002 y 2005. En 1999 y el 2000 se presentó lluvia acumulada en exceso (Figura 24).

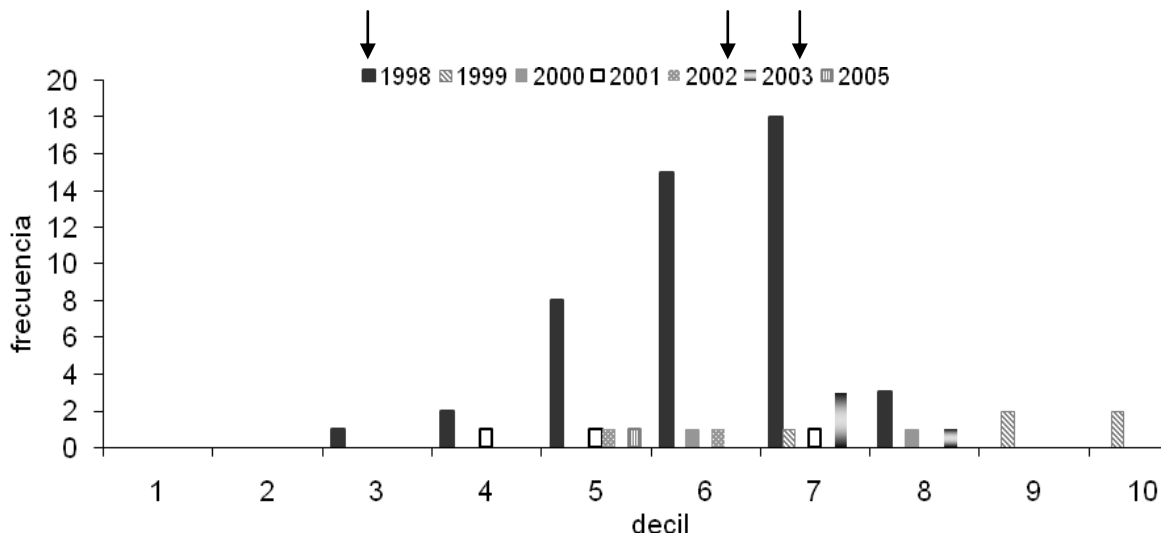


Figura 24. Frecuencia de PHP por deciles, en el sur (Chiapas y Oaxaca). Cada periodo se localiza en un decil según la lluvia acumulada, el decil indica si los periodos se presentaron con déficit (1, 2 y 3), normal (4, 5, 6 y 7) y superávit (8, 9 y 10). Cada periodo corresponde a un sitio donde ocurrió un mega-incendio. Las flechas indican los años con presencia de *El Niño*.

En el norte de México (Chihuahua, Durango y Tamaulipas), los valores de lluvia acumulada fueron normales en 1998 (mayores frecuencias en los deciles 8, 6 y 7), 1999 y 2000 (ambos con mayores frecuencias en los deciles 6 y 8; Figura 25).

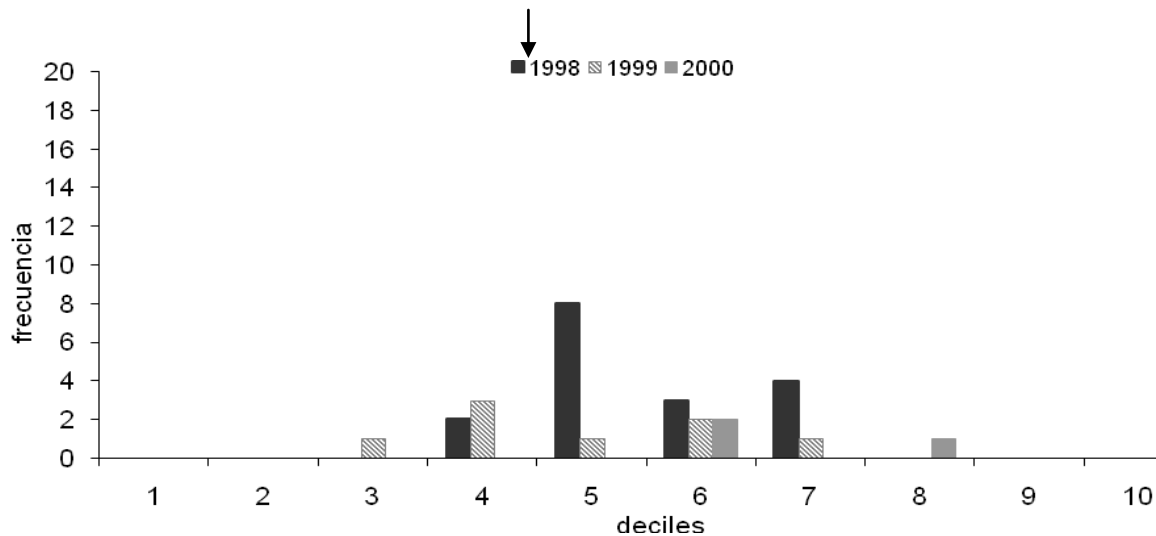


Figura 25. Frecuencia de PHP por deciles, en el norte (Chihuahua, Durango y Tamaulipas). Cada periodo se localiza en un decil según la lluvia acumulada, el decil indica si los periodos se presentaron con déficit (1, 2 y 3), normal (4, 5, 6 y 7) y superávit (8, 9 y 10). Cada periodo corresponde a un sitio donde ocurrió un mega-incendio. Las flechas indican los años con presencia de El Niño.

En el sur no se registraron cantidades anormales o muy bajas de lluvia en el verano anterior a los mega-incendios, los deciles indican que su comportamiento fue normal (Figura 24). El norte registra condiciones muy similares, ya que, las lluvias en los veranos anteriores a los incendios son normales (Figura 25). Los PHP normales indican que los sitios con mega-incendios no presentan excesos de humedad en el verano previo que favorezcan la proliferación de biomasa. Por tanto, es difícil comprobar la influencia de este periodo de lluvias en la cantidad de combustible y en la magnitud de la superficie afectada por los mega-incendios.

6.3.2 Periodo Seco.

Durante el Periodo Seco (PS) se presenta la temporada de incendios, y está estrechamente asociado al estado de la vegetación y a su disponibilidad como combustible para los incendios. La lluvia acumulada en los PS (noviembre a mayo) se comporta diferencialmente a lo largo del tiempo.

En el sur, la mayor parte de sitios con mega-incendios registraron cantidades anormales de lluvia de 1999 al 2006, las altas frecuencias en los deciles 2 y 3 indican déficit de lluvia (Figura 26). En 1998, los mega-incendios se caracterizan por presentar PS

heterogéneos, algunos muestran cantidades normales (frecuencias de 3, 7 y 9 en los deciles 5, 6 y 7 respectivamente) y otros (los más frecuentes) presentan déficit (frecuencias de 6, 10 y 10 en los deciles 2, 3 y 4 respectivamente; Figura 26).

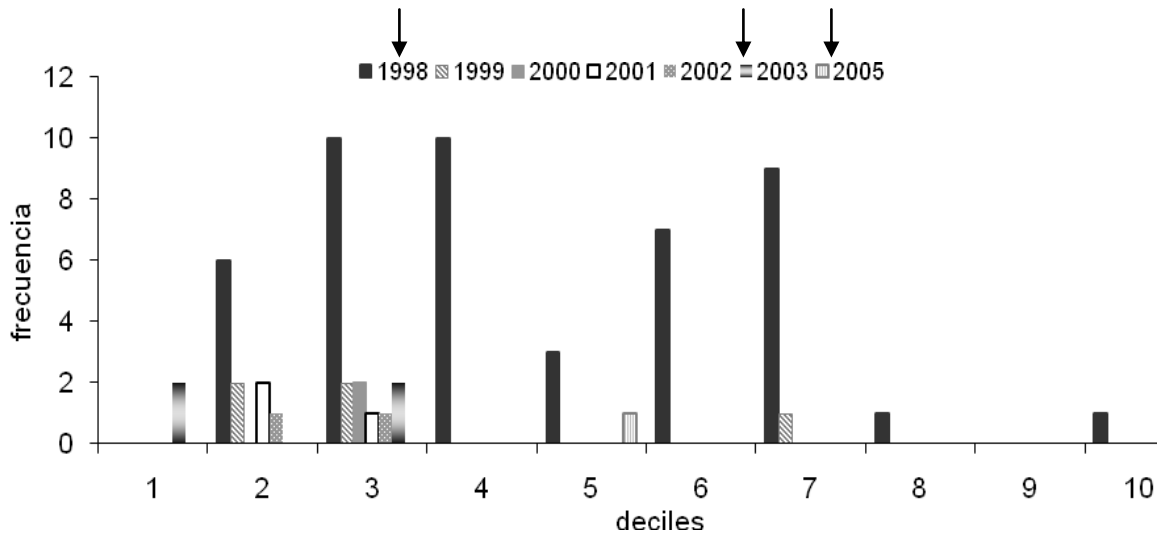


Figura 26. Frecuencia de PS por deciles, en el sur (Chiapas y Oaxaca). Cada periodo se localiza en un decil según la lluvia acumulada, el decil indica si los periodos se presentaron con déficit (1, 2 y 3), normal (4, 5, 6 y 7) y superávit (8, 9 y 10). Cada periodo corresponde a un sitio donde ocurrió un mega-incendio. Las flechas indican los años con presencia de El Niño.

En los estados del norte, los sitios de mega-incendios presentaron PS con déficit todos los años. En 1998 (el único año de *El Niño*) hubo periodos en los deciles 1, 2, 3, con frecuencias de 3, 9 y 3 respectivamente (Figura 27). Lo mismo en 1999 (deciles 1, 2 y 3, con frecuencias de 4, 3 y 1 respectivamente) y el 2000 (decil 1 con 3 eventos; Figura 27).

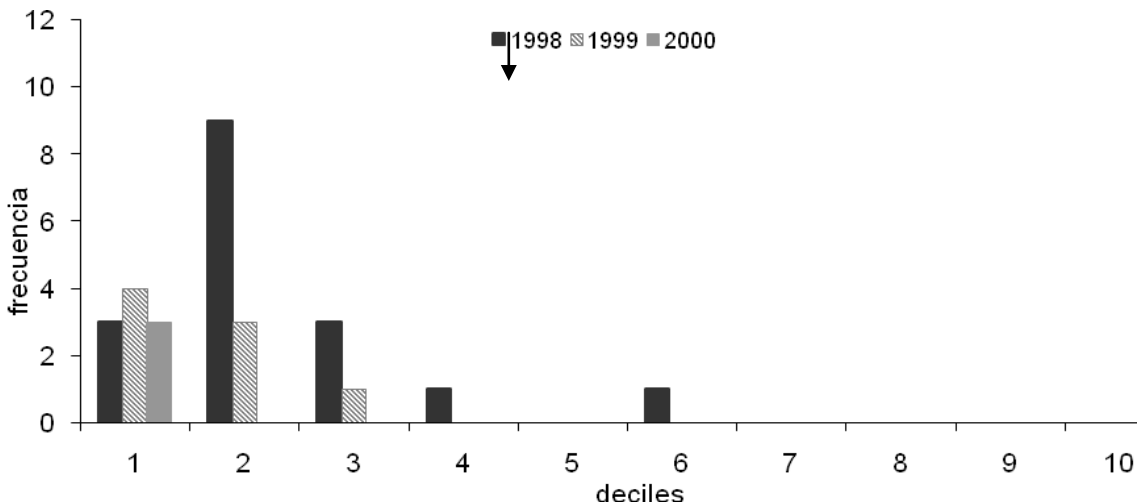


Figura 27. Frecuencia de PS por deciles, en el norte (Chihuahua, Durango y Tamaulipas). Cada periodo se localiza en un decil según la lluvia acumulada, el decil indica si los periodos se presentaron con déficit (1, 2 y 3), normal (4, 5, 6 y 7) y superávit (8, 9 y 10). Cada periodo corresponde a un sitio donde ocurrió un mega-incendio. Las flechas indican los años con presencia de El Niño.

Los PS en el norte y el sur se caracterizan por presentar déficit en la lluvia acumulada, no obstante en años de *El Niño* intenso como 1998 pueden presentar cantidades normales, en el sur existe lluvia acumulada con superávit pero con baja frecuencia. La generalidad es que en años con *El Niño* de débil intensidad o sin él, el PS tenga déficit de lluvia, lo cual sirve para inducir la escasez de humedad en el ambiente y la acumulación de vegetación seca, sin embargo, es relevante que en ambas regiones se presenten cantidades normales y exceso de lluvia en años *El Niño* intenso.

6.3.3 Periodo Seco 2.

Los Periodos Secos 2 (PS2) se constituyen por algunos meses del PS, pero más inmediatos al inicio de la temporada de incendios (enero a marzo). En el sur, los sitios presentan PS2 sólo con déficit marcados (a diferencia de los PS) con altas frecuencias en los deciles 1, 2 y 3 (Figura 28)

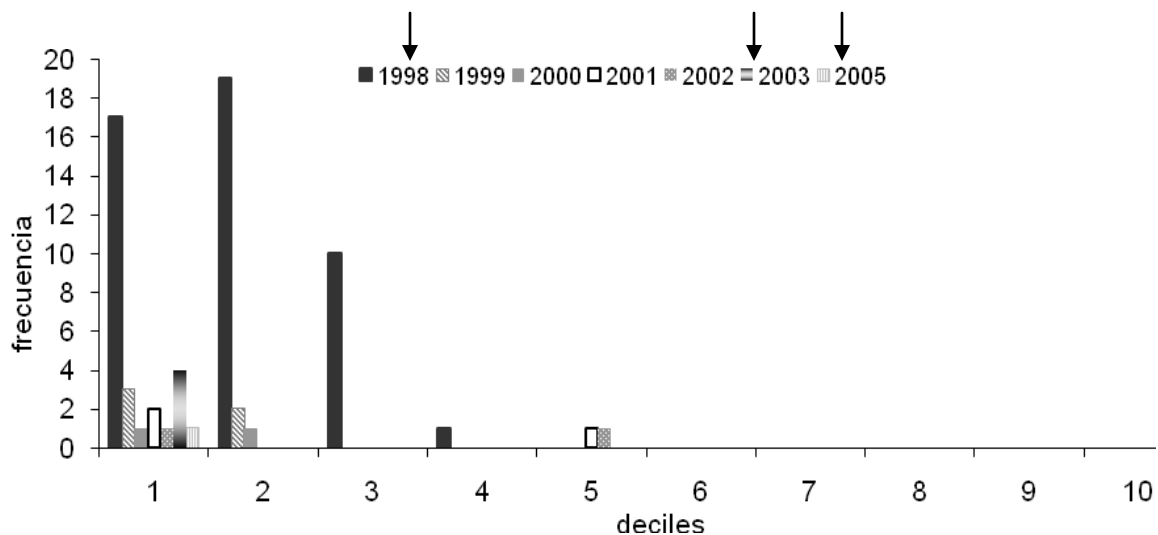


Figura 28. Frecuencia de PS2 por deciles, en el sur (Chiapas y Oaxaca). Cada periodo se localiza en un decil según la lluvia acumulada, el decil indica si los periodos se presentaron con déficit (1, 2 y 3), normal (4, 5, 6 y 7) y superávit (8, 9 y 10). Cada periodo corresponde a un sitio donde ocurrió un mega-incendio. Las flechas indican los años con presencia de *El Niño*.

Los PS2 en el norte se concentraron en los deciles 1 y 2 en todos los años, esto indica un déficit marcado en la cantidad de precipitación (Figura 29). El comportamiento de los PS2 no manifiesta variabilidad anual, es decir que este periodo siempre se presentó con déficit aún en años con la fase baja del ENOS y es poco probable que su dinámica se relacione con la presencia de *El Niño*, sin embargo son una condición indispensable para la presencia de los mega-incendios.

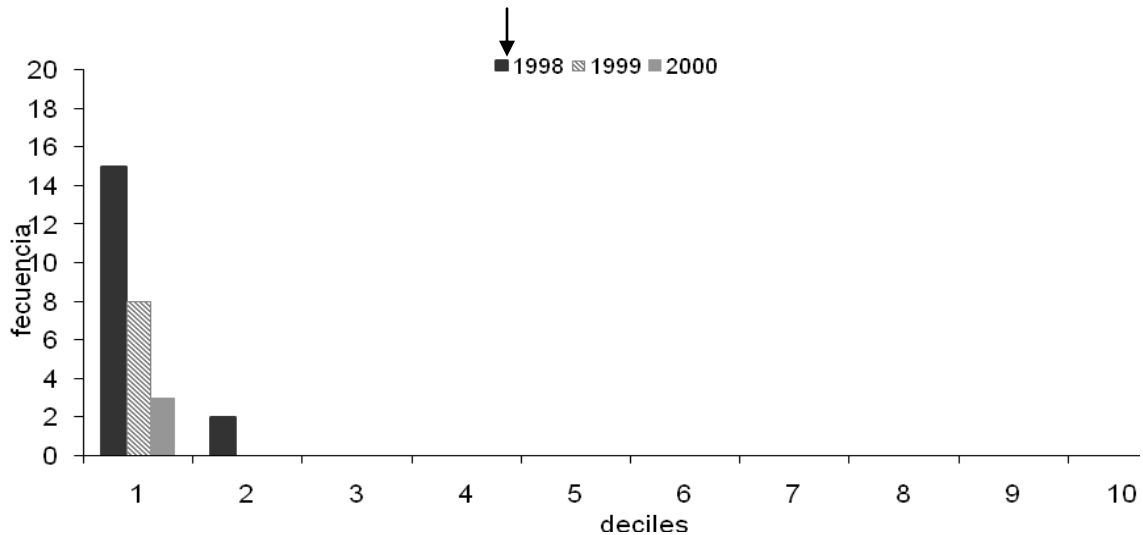


Figura 29. Frecuencia de PS2 por deciles, en el norte (Chihuahua, Durango y Tamaulipas). Cada periodo se localiza en un decil según la lluvia acumulada, el decil indica si los periodos se presentaron con déficit (1, 2 y 3), normal (4, 5, 6 y 7) y superávit (8, 9 y 10). Cada periodo corresponde a un sitio donde ocurrió un mega-incendio. Las flechas indican los años con presencia de El Niño.

En el sur (Oaxaca y Chiapas), y el norte (Chihuahua, Durango y Tamaulipas) la lluvia fue escasa durante los PS2, aun en años de sin *El Niño* como 1999, 2000, 2001, 2002, 2004 (Figura 28). Pero en 1998, las frecuencias de PS2 con déficit fueron más altas. La diferencia entre norte y sur es que en este no es indispensable la presencia de un PS2 muy árido, a diferencia del norte (Figura 29).

6.3.4 Retraso de la temporada de lluvias

Como la temporada de incendios se presenta en el periodo seco del año, las condiciones de falta de lluvia en este lapso de tiempo permiten la desecación de la vegetación porque la evapotranspiración aumenta (Barlow y Peres, 2004). Esto favorece que las plantas sean más propensas a ser consumidas por el fuego. En el caso de ausencia de lluvias por días o semanas el combustible aumenta, y por lo tanto también se incrementa el riesgo de mega-incendios.

En el sur (Chiapas y Oaxaca) el retraso de la precipitación osciló en diferentes rangos de días a través de los años (Figura 30). Los mega-incendios en 2000, 2001, 2002 y 2005 coinciden con pequeños retrasos de 0 a 5 días, mientras que 1999 presenta retrasos de 6 a 15 días (Figura 30). En contraste, en 1998 la lluvia se retrasó aún más, la mayor parte de los sitios de incendios presentaron retrasos de 0 a 25 días, sin embargo la categoría de 16 a 20 días de retraso fue la que registró mayor frecuencia (Figura 30).

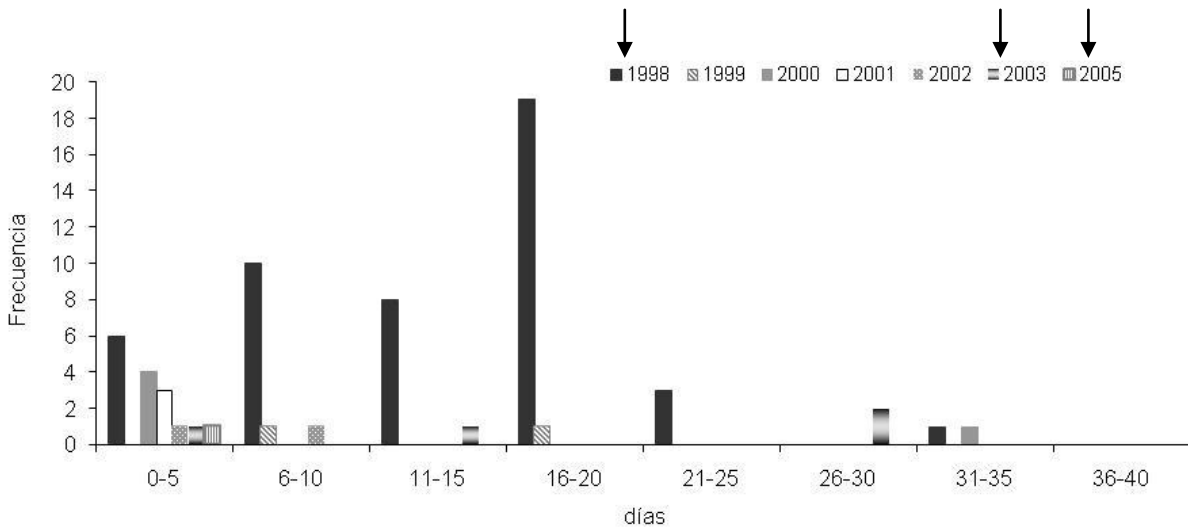


Figura 30. Frecuencia de sitios (donde ocurrieron mega-incendios) por categoría de días de retraso de las lluvias, en el sur (Chiapas y Oaxaca). Las flechas indican los años con presencia de El Niño.

En el norte (Chihuahua, Durango y Tamaulipas), los mega-incendios estuvieron relacionados a retrasos de hasta 40 días en la temporada de lluvias para el año 1998, pero fueron más frecuentes los retrasos de 0 a 5 días. En cambio en los años 1999 y 2000 se presentaron retrasos de 0 a 15 días (Figura 31).

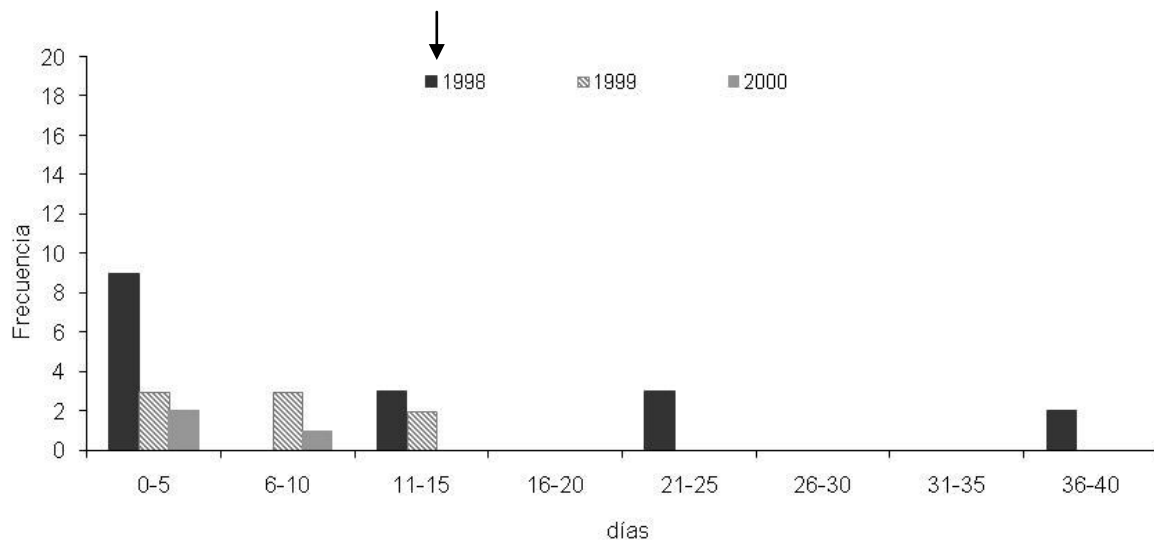


Figura 31. Frecuencia de sitios (donde ocurrieron mega-incendios) por categoría de días de retraso de las lluvias, en el norte (Chihuahua, Durango y Tamaulipas). Las flechas indican los años con presencia de El Niño.

Los resultados indican que al sur y al norte del país los retrasos de las lluvias abarcan pocos días en los años de 1999 al 2005, en cambio en 1998 y 2003 (años de *El Niño*) la temporada de lluvias se retrasa más días. Aunque los retrasos por pocos días son los más frecuentes (ambas regiones), existen retrasos relacionados con *El Niño*

(1998) muy extensos (hasta por 40 días), estos no son frecuentes y no están relacionados directamente a la presencia de mega-incendios.

6.3.5 Frecuencia de mega-incendios y anomalías de precipitación

En el caso de la precipitación se cuantificó el número de días (continuos) con anomalías negativas y que antecedieron a la ignición de los mega-incendios. Las anomalías negativas de lluvia se refieren al acumulado de 5 días, se calcularon por pentadas porque la lluvia acumulada presenta valores significativos en la humedad del ambiente. Un rango amplio de días implica un periodo largo de exposición de la vegetación a precipitación por debajo de lo normal.

En el sur (Chiapas y Oaxaca) los sitios con mega-incendios reportan anomalías negativas de lluvia en un rango amplio de días (de 0 a >150 días; Figura 32). No obstante, años de *El Niño* la mayor incidencia de incendios se presenta con anomalías de 1 a 30 días y de 50 a 150. En años de sin *El Niño* o *El Niño* débil como 1999, 2000, 2001, 2002, 2003 y 2005 las anomalías son heterogéneas, pero se registran altas frecuencias en un rango de 0-75 días (Figura 32), aunque el primer mes de anomalías registra la mayor frecuencia.

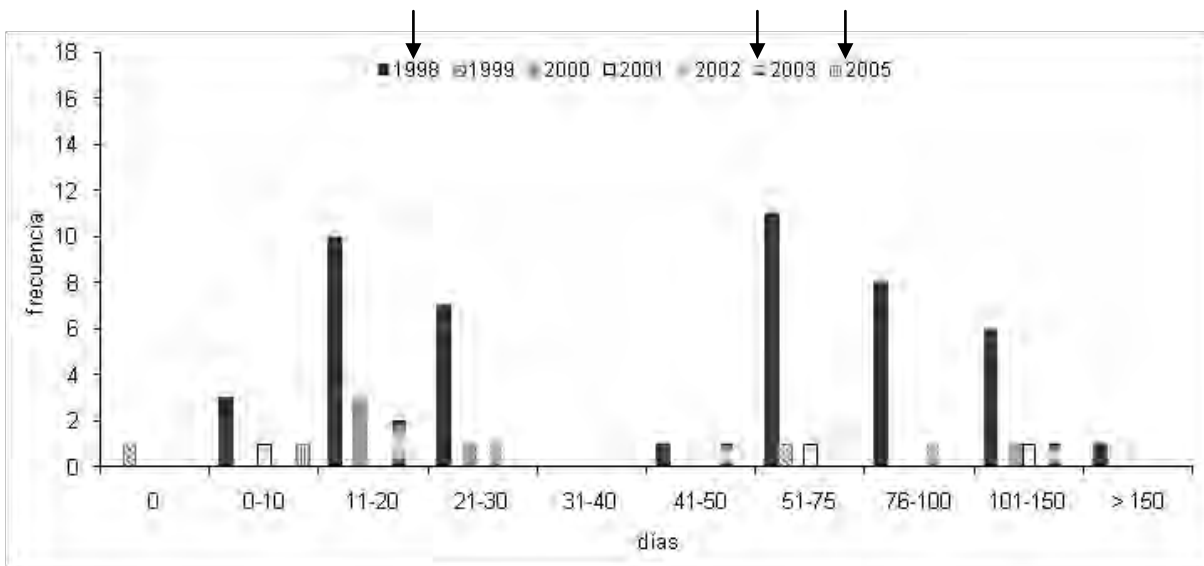


Figura 32. Frecuencia de sitios (con mega-incendios) por categorías de días con anomalías negativas de precipitación, en el sur (Oaxaca y Chiapas). Las flechas indican los años con presencia de *El Niño*.

En los estados del norte, los datos indican que un mega-incendio se presenta cuando existen anomalías negativas continuas por varios días (11 a >150 días; Figura 25). En 1998, la continuidad de las anomalías de 21 y hasta más de 150 días coincide con la presencia del fuego (Figura 33), en años sin *El Niño* se necesita de 76 y hasta más de

150 días de anomalías continuas; la baja frecuencia de incendios con anomalías de 0 a 40 días indica que pueden existir otros factores en estos días, además de las anomalías de lluvia, que derivan en amplias superficies incendiadas.

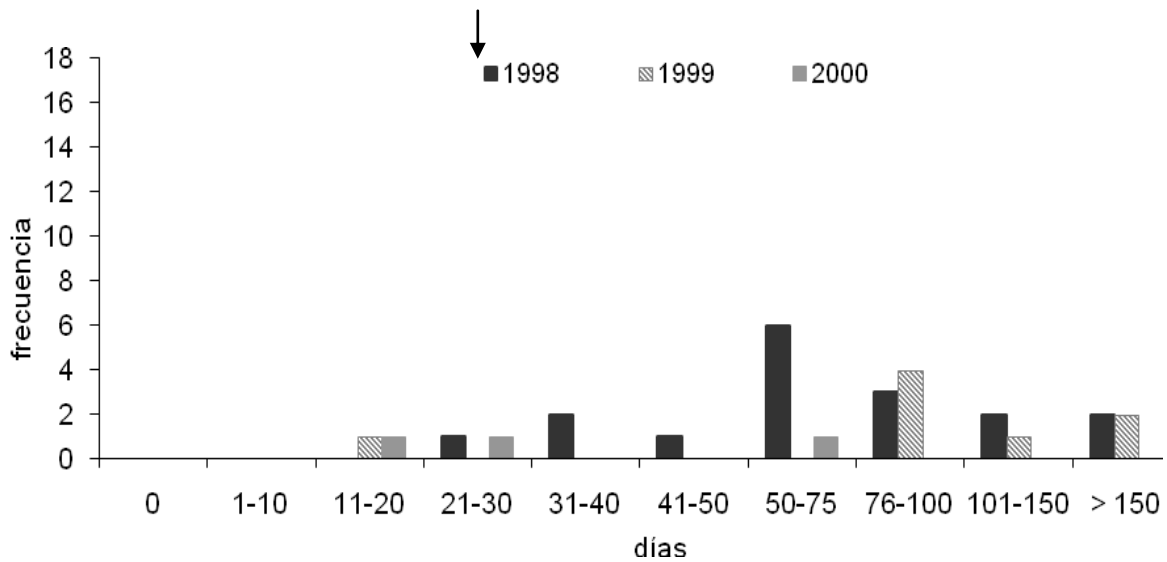


Figura 33. Frecuencia de sitios (con mega-incendios) por categorías de días con anomalías negativas de precipitación, en el norte (Chihuahua, Durango y Tamaulipas). Las flechas indican los años con presencia de El Niño.

En ambas regiones las anomalías negativas de lluvia se presentan con heterogeneidad, es decir las frecuencias varían a través de los años (aún en años de *El Niño*). Pero los periodos con anomalías son más prolongados en el norte (de 0 a 200 días) que en el sur y como los mega-incendios son menos frecuentes (28 eventos al norte y 64 al sur), esto pueden indicar más tolerancia en el norte a la lluvia escasa. En contraste el déficit de lluvia, es más significativo en el sur, porque presenta numerosos mega-incendios con estas características.

6.4 Análisis de temperatura.

6.4.1 Frecuencia de mega-incendios y anomalías de temperatura.

En el análisis de la temperatura se calcularon los días continuos con anomalías positivas y que antecedieron a la ignición de los mega-incendios. Las anomalías positivas de temperatura se refieren un promedio de 5 días, y se calcularon por pentadas debido a que el promedio representa un valor significativo en el nivel de evapotranspiración. Un rango amplio de días implica un periodo largo de exposición de la vegetación a temperatura por arriba de lo normal. Un amplio número de días con anomalías significa un periodo largo en el que la vegetación está expuesta a perder la humedad contenida en su estructura por medio de la evapotranspiración.

La mayoría de los mega-incendios que ocurrieron de 1999 al 2005, al sur del país se presentaron con anomalías continuas de temperatura positiva en el rango de 0 a >150 días (Figura 34). En 1998, es característica la alta frecuencia de incendios con anomalías de temperatura negativas de 0-30 días (Figura 34).

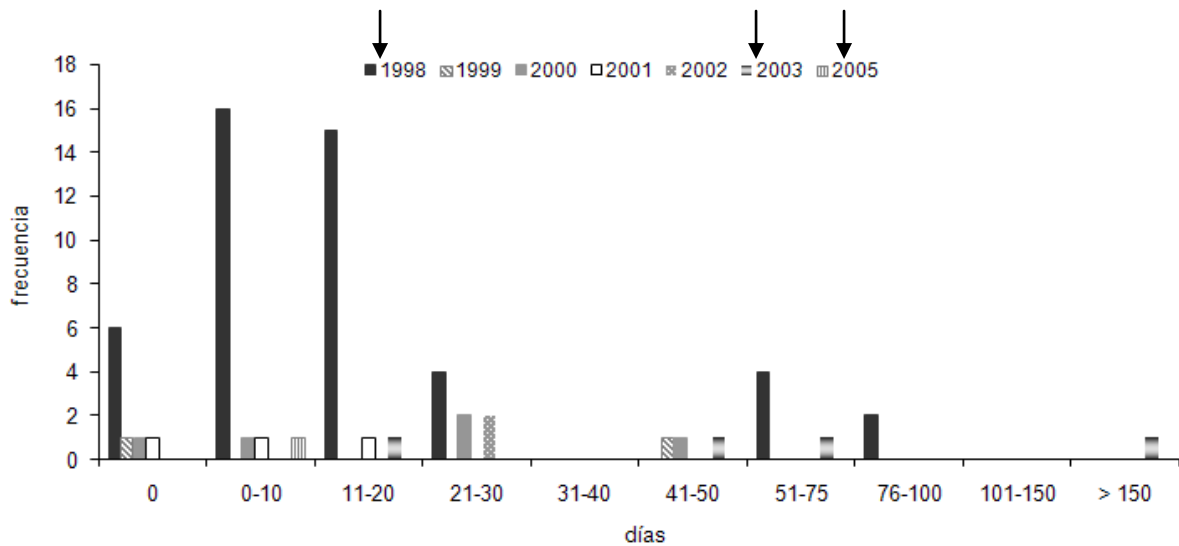


Figura 34. Frecuencia de sitios (con mega-incendios) por categorías de días con anomalías positivas de temperatura, en el sur (Oaxaca y Chiapas). Las flechas indican los años con presencia de El Niño.

En el norte, es frecuente que los sitios con mega-incendios presenten anomalías positivas en el rango de 0 a 150 días, la frecuencia indica la existencia de más mega-incendios con anomalías de temperatura de 0 a 50 días. Pero en años de *El Niño* (1998) las anomalías pueden prolongarse hasta por más de 150 días en 2 o 3 mega-incendios (Figura 35).

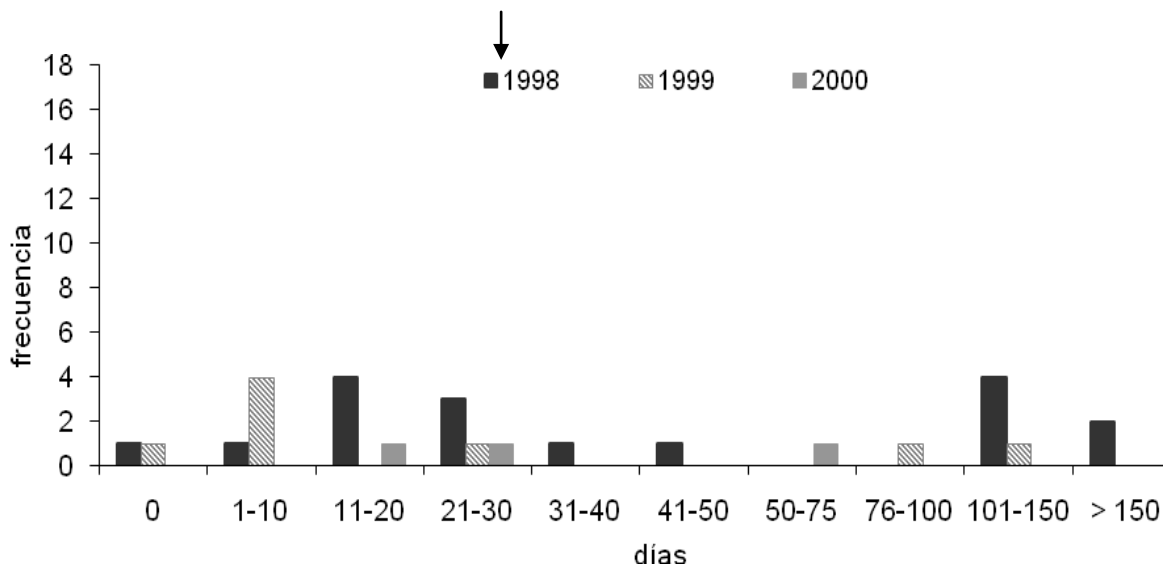


Figura 35. Frecuencia de sitios (con mega-incendios) por categorías de días con anomalías positivas de temperatura, en el norte (Chihuahua, Durango y Tamaulipas). Las flechas indican los años con presencia de El Niño.

Las anomalías de temperatura en el norte y el sur contrastan debido a que en el sur estas pueden presentarse en el rango de 0 a 100 días, en cambio en el norte estas pueden presentarse en el rango de 0->150 días. En ambas regiones en años de *El Niño* intenso (1998) las anomalías de temperatura positivas se presentan con periodos más prolongados que el resto de los años. En contraste con las anomalías de lluvia, las altas temperaturas se suelen presentar por pocos días pero se presentan casi tan frecuentemente como las anomalías de precipitación, por tanto influyen de igual forma en el desarrollo de los mega-incendios.

6.5 Sincronización en la presencia de anomalías de precipitación y temperatura.

La lluvia y la temperatura se asocian al clima y tiempo atmosférico, son elementos que interactúan e inducen la presencia de condiciones ideales para el desarrollo de los incendios. Los resultados indican que existe una sincronización espacial y temporal entre las anomalías de precipitación y de temperatura en la mayor parte de los sitios con mega-incendios. No obstante, algunas veces sólo se presentó un tipo de anomalía y en casos particulares no se registro algún tipo de anomalía.

En el sur, en 1998 cerca de 40 eventos presentaron sincronización de anomalías, de igual forma en 1999, 2000, 2001, 2002, 2003, y 2005 (con menos eventos) los mega-incendios fueron antecidos por la sincronización de anomalías (Figura 36). En los pocos eventos sin sincronización, la presencia de anomalías de lluvia fue la más frecuente (Figura 36).

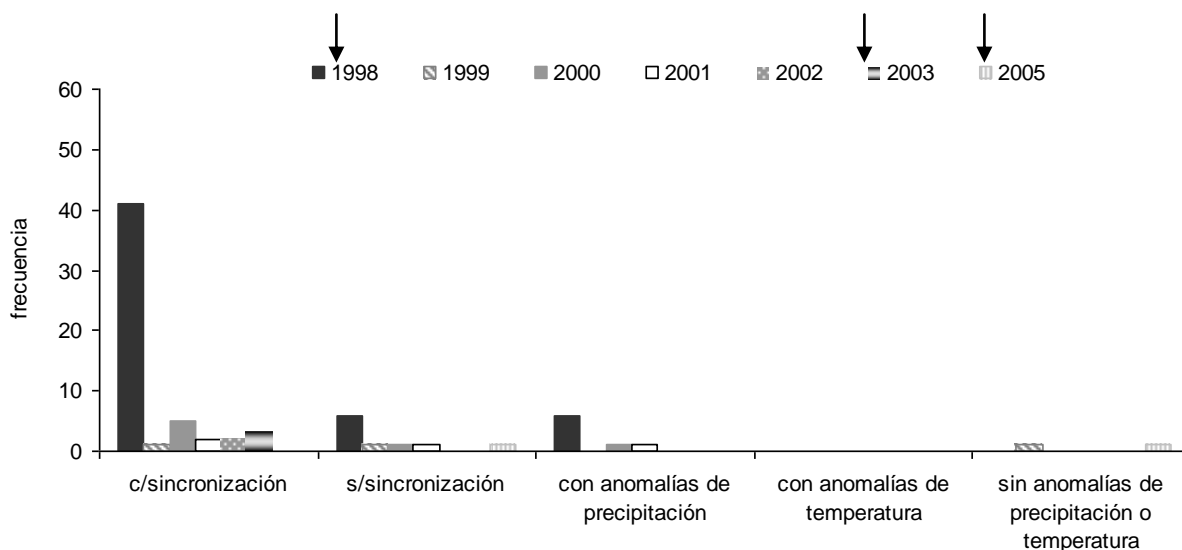


Figura 36. Frecuencia sitios (con mega-incendios) con sincronización de anomalías (precipitación y temperatura). Se contabilizan los mega-incendios del sur (Chiapas y Oaxaca) con sincronización o sin ella, y si no hubo, se especifica que tipo de anomalías si se presentaron; además se contabilizan los casos donde ninguna de las dos se presentó. Las flechas indican los años con presencia de El Niño.

En los estados del norte, la mayoría de los mega-incendios presentaron sincronización de anomalías de precipitación y temperatura (Figura 37). En los pocos incendios sin sincronización predominó la presencia de las anomalías de precipitación (Figura 37).

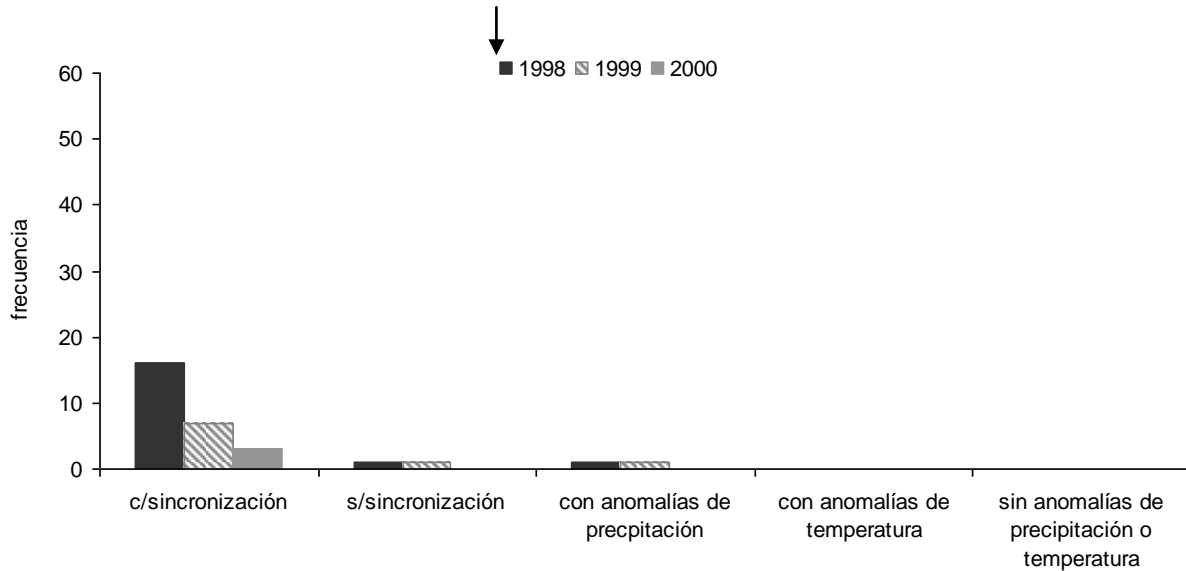


Figura 37. Frecuencia sitios (con mega-incendios) con sincronización de anomalías (precipitación y temperatura). Se contabilizan los mega-incendios del norte (Chihuahua, Durango y Tamaulipas) con sincronización o sin ella, y si no hubo, se especifica que tipo de anomalías si se presentaron; además se contabilizan los casos donde ninguna de las dos se presentó. Las flechas indican los años con presencia de El Niño.

En el norte y el sur fue importante la sincronización de condiciones anómalas de precipitación y temperatura, la frecuencia indica que los mega-incendios en años de *El Niño* intenso presentan comúnmente esta condición. Asimismo, estas características también son reportadas en los mega-incendios de otros años.

6.6 Análisis de mega-incendios en Oaxaca y Tamaulipas.

Los datos del siguiente apartado incluyen los resultados de la investigación que se presentaron en el marco de la IV Conferencia Internacional sobre incendios forestales en Sevilla, España, en mayo del 2007. Aquí se incluye el análisis de los datos de dos estados contrastantes que representan al norte y sur de México como Oaxaca y Tamaulipas.

Bajo el supuesto de que el área quemada por evento extremo (mega-incendios) está relacionada a la longitud de un periodo considerablemente seco, y de que *El Niño* tiene efectos diferenciales al norte y sur del país. Se analizó la diferencia entre las fechas promedio de inicio de las lluvias y de la correspondiente a 1998 y la relación entre la superficie incendiada de cada incendio y la precipitación acumulada de enero a mayo.

Se analizaron 23 incendios extremos ocurridos en 1998 en el estado de Oaxaca. Estos eventos presentan alrededor del 31% de la superficie incendiada de Oaxaca en el año. En general, en esta región la temporada de lluvias en promedio comienza el 29 de mayo, pero en 1998 se presentó hasta el 13 de junio, dando como resultado un retraso de la precipitación de 15 días para los sitios analizados (Figura 38).

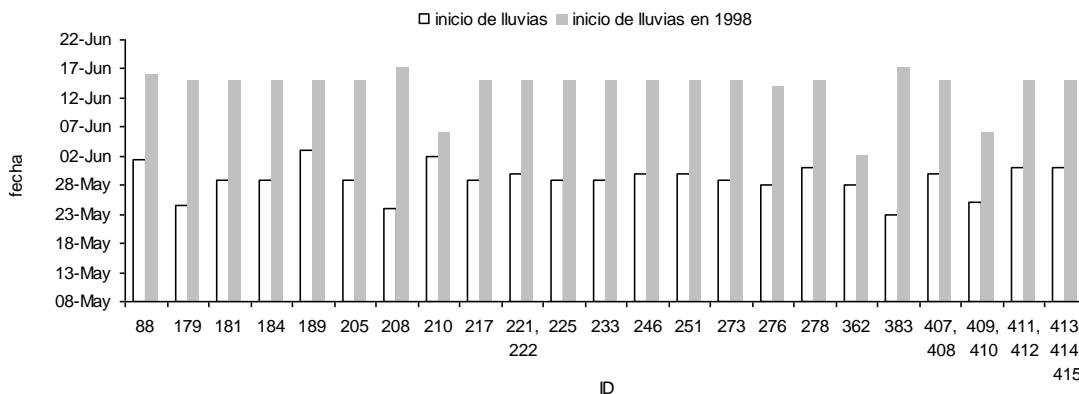


Figura 38. Día del inicio de las lluvias promedio y fecha de inicio de lluvias en 1998 para cada lugar donde ocurrió un evento extremo en Oaxaca. Identificador (ID).

El análisis de la cantidad de lluvia acumulada de enero a diciembre indica que la mayor frecuencia de mega-incendios se presenta cuando la lluvia acumulada de 0 a 60 mm (Figura 39). Asimismo, la tendencia de la superficie afectada y el acumulado de lluvia indican que con mayor cantidad de precipitación la frecuencia de los incendios es menor y la superficie afectada decrece considerablemente (Figura 39).

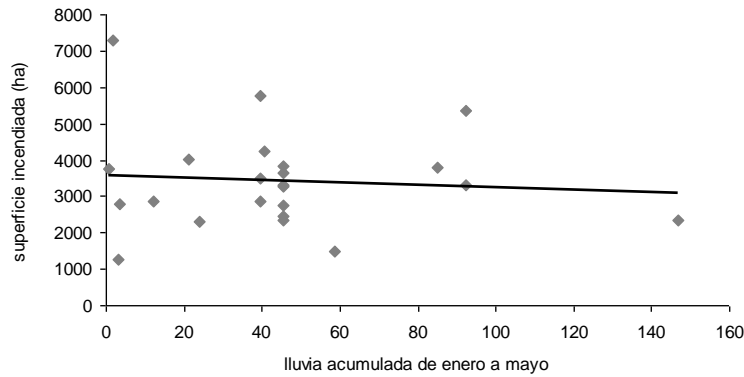


Figura 39. Lluvia acumulada de enero a mayo de 1998 (x) y superficie afectada por incendio extremo (y) en Oaxaca.

Los datos indican que en Tamaulipas se presentaron cinco incendios extremos, estos constituyen el 44 por ciento de la superficie incendiada total del año 1998. La fecha de inicio de las lluvias muestra un retraso promedio de 15 días en el área donde se presentaron los incendios extremos (Figura 40).

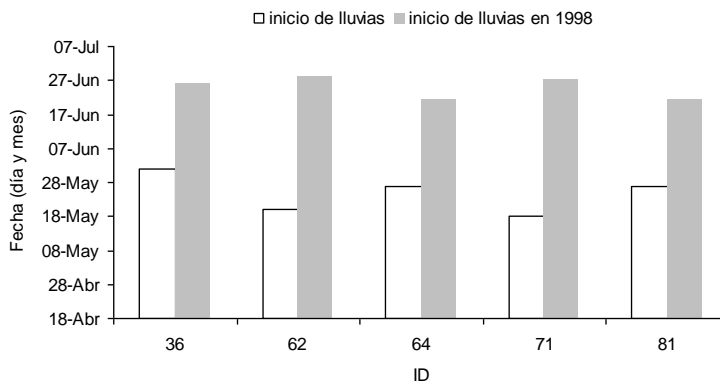


Figura 40. Día del inicio de las lluvias promedio y fecha de inicio de lluvias en 1998 para cada lugar donde ocurrió un evento extremo en Tamaulipas. Identificador (ID).

Los resultados de la lluvia acumulada en los últimos cuatro meses del periodo seco, indican que la precipitación fue escasa para todos los incendios, la relación de superficie incendiada con este factor indica que la cantidad de lluvia es determinante para el tamaño de los eventos. Por ejemplo el incendio 72 fue el más pequeño de los cinco (1.120 has. afectadas), pero se presentó en el lugar más húmedo de los sitios analizados. Mientras que los lugares donde ocurrieron los incendios de mayor amplitud (1.900 has.) tuvieron tres o cuatro veces menos precipitación que en el incendio 72 (Figura 41). La línea de tendencia entre la superficie incendiada y lluvia acumulada de enero a mayo de 1998 indica que con menor precipitación la superficie incendiada se incrementa (Figura 41).

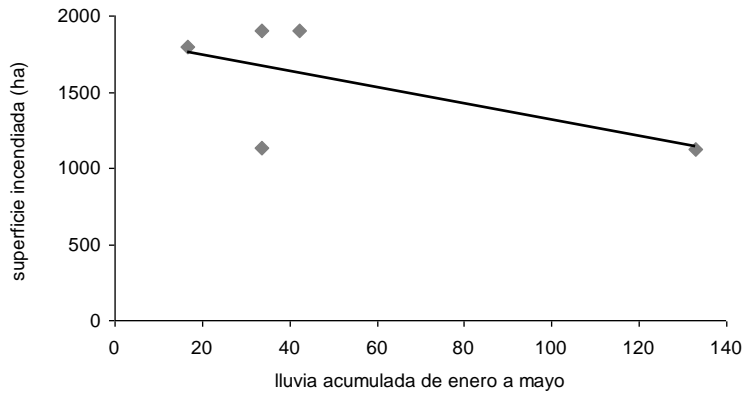


Figura 41. Lluvia acumulada de enero a mayo de 1998 (x) y superficie afectada por incendio extremo (y) en Tamaulipas.

En 1998 el efecto de *El Niño* no contrastó considerablemente en Oaxaca y Tamaulipas, en ambos casos se presentó una sequía. Los efectos diferenciales de *El Niño* no son evidentes entre los estados, porque el fenómeno de 1997-98 sólo impactó el norte de Baja California, parte de Sonora y la península de Yucatán (Magaña y otros, 1999). Por ello, la sequía derivada de la presencia de *El Niño* se manifestó en ambos casos y una de sus consecuencias fue la presencia de eventos extremos (mega-incendio) en los dos sitios.

La lluvia acumulada de los últimos 4 meses del periodo seco (que es cuando se presentan los incendios extremos) es un factor muy importante para determinar la humedad en el ambiente, el suelo y en la vegetación al momento de inicio de los incendios extremos, por lo cual tiene una marcada relación con la superficie incendiada. Por otro lado, en Tamaulipas y Oaxaca coinciden la sincronización del comienzo tardío de las lluvias y un periodo seco anterior al incendio extremo, la acción conjunta de los dos factores, deriva en la dispersión de los incendios extremos (mega-incendio).

En conclusión, los efectos en el periodo seco fueron similares, pero las condiciones particulares de los estados (p.e el tipo de vegetación incendiada) indujeron el comportamiento diferencial de los eventos extremos, manifestándose en la frecuencia de los mismos. El factor que explica más las condiciones de sequía previas a un incendio extremo es la lluvia acumulada de los últimos cuatro meses del periodo seco. Básicamente, con mayor cantidad de lluvia en esos meses, la superficie incendiada es menor. Por el contrario, cuando la precipitación acumulada indica sólo algunos milímetros de agua precipitados, se presentan incendios de miles de hectáreas y por lo tanto de eventos extremos.

7. Discusión.

Los datos históricos de incendios (1970-2005) de la Conafor indican que en México, la superficie afectada por los incendios se ha incrementado en las últimas décadas. En los 70's la superficie incendiada fue de 1,582,040 has; pero en las dos décadas siguientes se reportan superficies superiores a los dos millones de hectáreas afectadas: 2,579,760 has. en los 80's y 2,516,979 has. en los 90's. Román-Cuesta y Martínez-Vilalta (2005) han encontrado que las quemas son más recurrentes al sur de México desde la sequía causada por *El Niño* en 1982-1983. Estos autores también sugieren que el uso constante del fuego en las actividades de producción es otro de los factores que contribuyen al aumento de los incendios. En años recientes, diversos lugares del planeta reportan extensas áreas incendiadas: en California hubo 300,000 has. incendiadas en 2003 (Keeley *et al.*, 2004), en Yellowstone 450,000 has. incendiadas en 1988 (López-Portillo *et al.*, 1990), en Australia 560,000 has. incendiadas en 2002 (The Australian, 2006) y en Portugal 450,000 has. en 2003 (Pereira *et al.*, 2005). Las investigaciones realizadas en esos sitios indican que la causa principal de estos incendios, fue la disponibilidad de enormes cantidades de combustible, que asu vez fueron generadas por factores como, políticas de manejo del fuego y por las sequías severas. Por ejemplo, se piensa que las campañas de exclusión del fuego realizadas en el siglo pasado, así como el efecto de la variabilidad climática, derivan en la acumulación de material vegetal seco e igniciones que pueden crear incendios de gran magnitud.

De acuerdo a nuestros resultados la temporada más intensa de incendios, en México fue la que se registró en 1998 con 849,632 has. afectadas lo cual coincide con el evento de *El Niño* de ese mismo año. Diversos autores reportan que la superficie incendiada aumenta especialmente en años de *El Niño-Oscilación del Sur*, porque este fenómeno induce condiciones ideales para la propagación del fuego, como temporadas más secas de lo normal y disminución de la humedad contenida en la vegetación (Magaña, 1999; Beckage *et al.*, 2003). En ese sentido, Siegert *et al.*, (2001) y Ray *et al.*, (2005) explican que los incendios en Indonesia y la Amazonia Brasileña están asociados a las sequías excepcionales causadas por *El Niño*, pero afirman que la susceptibilidad al fuego se incrementa con las actividades antrópicas a tal grado que la devastación causada por los incendios alcanza 5.2 millones de has. en Indonesia y 540,000 has. en Brasil. En el caso del sur de México, los factores antrópicos como la agricultura y la densidad de caminos incrementan la incidencia del fuego en las áreas naturales cuando

se encuentran a menos de 10 km. (Román-Cuesta y Martínez-Vilalta 2005). En esta investigación se observó que la mayor parte de los incendios se distribuyeron en áreas forestales colindantes a zonas ocupadas por cultivos o por actividades pecuarias.

7.1 Variabilidad regional de la superficie incendiada.

En México, durante el periodo 1998-2006 las superficies quemadas más extensas se distribuyeron al sur del país, tan solo Oaxaca y Chiapas registraron aprox. 200,000 has. incendiadas cada uno en 1998. En contraste, en los estados del norte la superficie incendiada anual no excedió las 100,000 has. Esta disparidad se debe a distintos motivos, entre los cuales se encuentran: el clima, el tipo de vegetación y las actividades productivas (Morgan *et al.*, 2008). En esta investigación se observó que la superficie afectada se incrementa significativamente al sur del país cuando se manifiesta *El Niño* (hasta 5 veces más que en un año normal). Por ejemplo, Cochrane (2002) señala que los incendios del año 1998 afectaron el 40% de los bosques de la reserva de Los Chimalapas (Oaxaca-Chiapas), los cuales fueron dañados o eliminados completamente por el fuego.

Según Conafor la mayoría de los incendios de todo el periodo que se manifestaron en los bosques tropicales y templados fueron inducidos, diversos autores indican que en la actualidad, bajo condiciones de sequía severa y la presencia de actividades antrópicas, como la tala o las quemadas agropecuarias generan incendios que modifican el régimen natural del fuego e incrementan la susceptibilidad de la vegetación al mismo porque son más frecuentes (Laurence, 2003; Van Nieuwstadt y Sheil, 2005). Stolle y Lambin (2003), aseguran que el riesgo de incendios forestales en los bosques se incrementa cuando las sequías facilitan que los incendios realizados en el marco de las actividades de extracción forestal se salgan de control y resulten grandes áreas incendiadas, básicamente las actividades de corta aumentan la cantidad de biomasa depositada en el piso del bosque. Aunque también coinciden con Aragão (2008) en que la sequía por si sola inhibe el crecimiento de los árboles e incrementa su mortalidad (especialmente en bosques maduros). Ambos factores implican la apertura de dosel y el desecamiento de la materia orgánica. La frecuencia de incendios en el norte de México y sus causas indican que las actividades forestales son tan importantes como las actividades agropecuarias para iniciar los fuegos. Finalmente Román-Cuesta y Martínez-Vilalta (2005) aseveran que la frecuencia de los incendios puede incrementarse por la degradación inducida por incendios severos previos.

7.2 Variabilidad regional de la frecuencia de los incendios

En el norte, los incendios son regulares y frecuentes pero de extensión moderada (el tamaño promedio de cada entidad oscila entre las 1,200 y 1,900 has.), mientras que, en el sur los incendios son más extensos y menos frecuentes (el tamaño promedio oscila entre las 2,500 y 3,500 has.). Los resultados de la presente investigación indican que esto se debe a que la ignición o inicio del fuego en México está determinado por quemadas inducidas o provocadas. En Chihuahua, Durango y Tamaulipas el uso del fuego es más frecuente debido a que se encuentran entre los primeros lugares a nivel nacional de producción forestal (INEGI, 1996; González-Hernández y Muñoz-Robles, 2007), lo que implica la limpieza constante de los terrenos mediante las quemadas. Siegert y otros (2001) coinciden en que las actividades de corta de madera causan el incremento de la incidencia de incendios. En ese sentido es sabido que las especies de bosque templado que predominan al norte (bosques de pino y encino) interactúan dinámicamente con el fuego y dependen de la presencia de las quemadas naturales periódicas (Fulé y Covington, 1999; Cerano-Paredes *et al.*, 2007; Fulé, *et al.*, 2007).

Similarmente, los incendios en el sur son provocados en el marco de actividades de producción agrícola, como la roza-tumba y quema (práctica aún muy arraigada en Oaxaca y Chiapas), pero algunos tipos de vegetación de esta región (p.e bosques tropicales) no presentan quemadas naturales recurrentes, además el monitoreo de los incendios en el sur del país es difícil porque muchos incendios ocurren en lugares remotos y de difícil acceso (Asbjornsen y Gallardo-Hernández, 2004). Todo esto contribuye a que se registren menos igniciones y el número de incendios forestales se vea disminuido.

7.3 Tamaño de los incendios

La temporada de incendios forestales está constituida por fuegos con distintas características individuales, una de ellas es la talla o tamaño de la superficie afectada (Myers, 2001). Esta característica se presenta con gran variabilidad en los estados analizados, desde 0.5 y hasta 18,000 has. afectadas. Esta heterogeneidad es explicada por la diversidad de condiciones ambientales que corresponden a los sitios donde se presentan los incendios, p.e el tiempo atmosférico y tipo de vegetación, que a su vez determinan la cantidad de combustible disponible.

El fuego que inicia a partir de actividades antrópicas como el pastoreo, la ganadería y la explotación forestal comúnmente provocan la presencia de pequeños y

frecuentes incendios (Jardel, 2003). Pero nuestros resultados señalan que 47% de la superficie incendiada en los estados analizados es explicada por la presencia de los grandes incendios. Moritz (1997) y Beverly y Martell (2005) aseveran que existe una relación directamente proporcional entre el tamaño y la severidad (nivel de daño) e intensidad (energía liberada por fuego medida en calorías o grados centígrados) de un incendio. Como el tamaño máximo registrado para un evento oscila entre las 1,900 y 18,000 has. en las entidades analizadas, se trata de eventos muy severos ya que además de afectar al arbolado adulto, afectan otros estratos como arbustos, pastizales y renuevo; el fuego presente en todos los niveles implica daños severos al ecosistema.

Los reportes del incremento de la superficie afectada de los últimos años destacan la importancia de realizar estudios acerca del origen y desarrollo de incendios más amplios. En este trabajo se definen a aquellos incendios grandes y severos como mega-incendios, con una superficie igual o mayor a las 1,000 has. incendiadas. El establecimiento de este umbral se debe a que los incendios de estas dimensiones son poco frecuentes en Chiapas, Oaxaca, Chihuahua, Durango y Tamaulipas y regularmente rebasan la capacidad de las instituciones mexicanas para controlarlos. En Canadá y California se considera que los mega-incendios son eventos extremos que superan las 4,500 has. afectadas (Moritz, 1997; Beverly y Martell, 2005), pero como los mega-incendios son eventos extraordinarios en términos de tamaño, complejidad y resistencia al control (BIICPPEW, 2005), la definición de los mismos depende del contexto y de las características específicas del régimen de incendios para cada lugar (Choung *et al.*, 2004). Asimismo, el análisis de incendios de más de 1,000 has. ofrece la posibilidad de conocer la dinámica de fenómenos potencialmente severos que pueden ocasionar la destrucción de hábitats enteros. En México los incendios de este tamaño superan el tamaño promedio y no tienen periodos de recurrencia natural evidentes. No obstante, los mega-incendios como otros fenómenos extremos (huracanes, lluvias intensas, olas de calor, sequías etc.) aparentemente son cada vez más comunes, por ejemplo el periodo 1998-2006 presenta al menos un mega-incendio por año, mientras que 1998 es el año con el mayor número de mega-incendios (109).

Los datos de Conafor en los 5 estados analizados indican que su ignición está acotada a los meses de febrero a junio. La mayor parte de los mega-incendios según los reportes, comienzan como quemas inducidas que tienen como propósito limpiar, fertilizar los terrenos y favorecer el desarrollo de pastizales para el ganado, diversos autores reportan este tipo de práctica en diversos lugares del mundo como Brasil, Indonesia y

Sumatra (Ketterings *et al.*, 1999; Metzger, 2002; Schuck *et al.*, 2002; Tacconi y Vayda, 2005). Los resultados indican que normalmente este tipo de incendios no sobrepasan las 50 has. incendiadas, pero cuando el clima es favorable el fuego se propaga sin control, una prueba de esto es que muchos de los incendios en áreas agropecuarias están presentes al mismo tiempo en áreas forestales. Por tanto, las condiciones climáticas son determinantes para que un pequeño incendio provocado se convierta en una mega-incendio. En Brasil, Laurance (2003) y Barlow y Peres (2004) señalan que las condiciones de sequía actúan junto con las actividades antrópicas (recursos de ignición) para generar los grandes incendios. En 1998 los incendios en la Amazonia comenzaron como quemas agrícolas, pero escaparon al control de los pobladores locales cuando el fuego se propago sobre una gran cantidad de combustible producido por la sequía y que se encontraba distribuido de manera continua. En el caso de los eventos analizados, las causas indican que una quema agropecuaria puede derivar en un evento de más de 1,000 has. Laurance (2003) y Barlow y Peres (2004) también señalan que las actividades antrópicas actúan como generadoras del fuego, mientras que, las fluctuaciones del clima (*p.e El Niño*) crean las condiciones propicias para su propagación. Finalmente, hacen énfasis en que estos son los dos factores esenciales para el origen de incendios catastróficos. Los resultados indican que todos los mega-incendios a excepción de los que se desconoce su causa (alrededor del 20%), fueron generados por el ser humano.

Diversos estudios sugieren que la superficie afectada por un incendio se incrementa en años de *El Niño* porque la oscilación de la presión del aire en los extremos del Océano Pacífico provoca que el viento conserve las condiciones anómalas y positivas en la temperatura de la superficie del mar cerca de las costas mexicanas. Debido a este fenómeno, las zonas de actividad convectiva (identificadas como las inductoras de la precipitación) se mantienen alejadas del territorio mexicano, resultando en periodos con sequía extrema al interior del país. La alta temperatura y baja precipitación que caracterizan a la sequía se combinan para crear condiciones ambientales específicas como mayor evapotranspiración y menor humedad relativa. Butry *et al.*, (2001) y McAneney *et al.*, (2007) sugieren que estas condiciones inducidas por *El Niño* derivan en el desarrollo de los mega-incendios, porque en condiciones de sequía, (definidas en este estudio como las que incluyen sólo del 10 al 40% de la lluvia máxima registrada), las plantas no cuentan con la humedad y energía necesarias para desarrollar sus procesos vitales (*p.e la fotosíntesis*), en consecuencia se eleva la mortandad de las plantas (30% de los tallos mueren en sequía extrema según Van Nieuwstadt y Sheil, 2005) y se

contribuye a incrementar la cantidad y homogeneidad espacial de los combustibles forestales. Se sugiere que los mega-incendios en México se localizan en sitios con grandes cargas de combustible distribuida de manera continua (p.e en bosques templados del norte y tropicales del sur de México), y como esto es definido por las características del clima y del tiempo atmosférico (Barlow y Peres, 2004); el análisis de algunos de sus elementos (p.e precipitación acumulada y anomalías de temperatura en el caso del clima) revela las condiciones previas y de mayor riesgo que derivan inevitablemente en incendios sin control.

En la Figura 42 se representa el efecto del fenómeno de *El Niño* sobre los mega-incendios tomando en cuenta los factores principales que contribuyen a su desarrollo. Sintetizamos la relación del factor humano y del factor natural, y como es que influyen en el incremento de las áreas incendiadas. Básicamente el clima puede ser influenciado por la presencia de *El Niño-Oscilación del sur*, cuando esto sucede se presenta una sequía severa porque la precipitación disminuye, la temperatura se eleva y como consecuencia la humedad relativa decrece y la evapotranspiración aumenta. El estrés hídrico provocado por estas condiciones deriva en el marchitamiento y desecación de la vegetación, la carga de combustibles aumenta y finalmente una ignición inducida en el marco de las actividades productivas, deriva en fuegos que son propagados por el viento en el combustible disponible. Aunque el viento actúa en las fases iniciales del desarrollo de los mega-incendios, posteriormente su fuerza es rebasada por las condiciones atmosféricas locales creadas a partir del mismo mega-incendio.

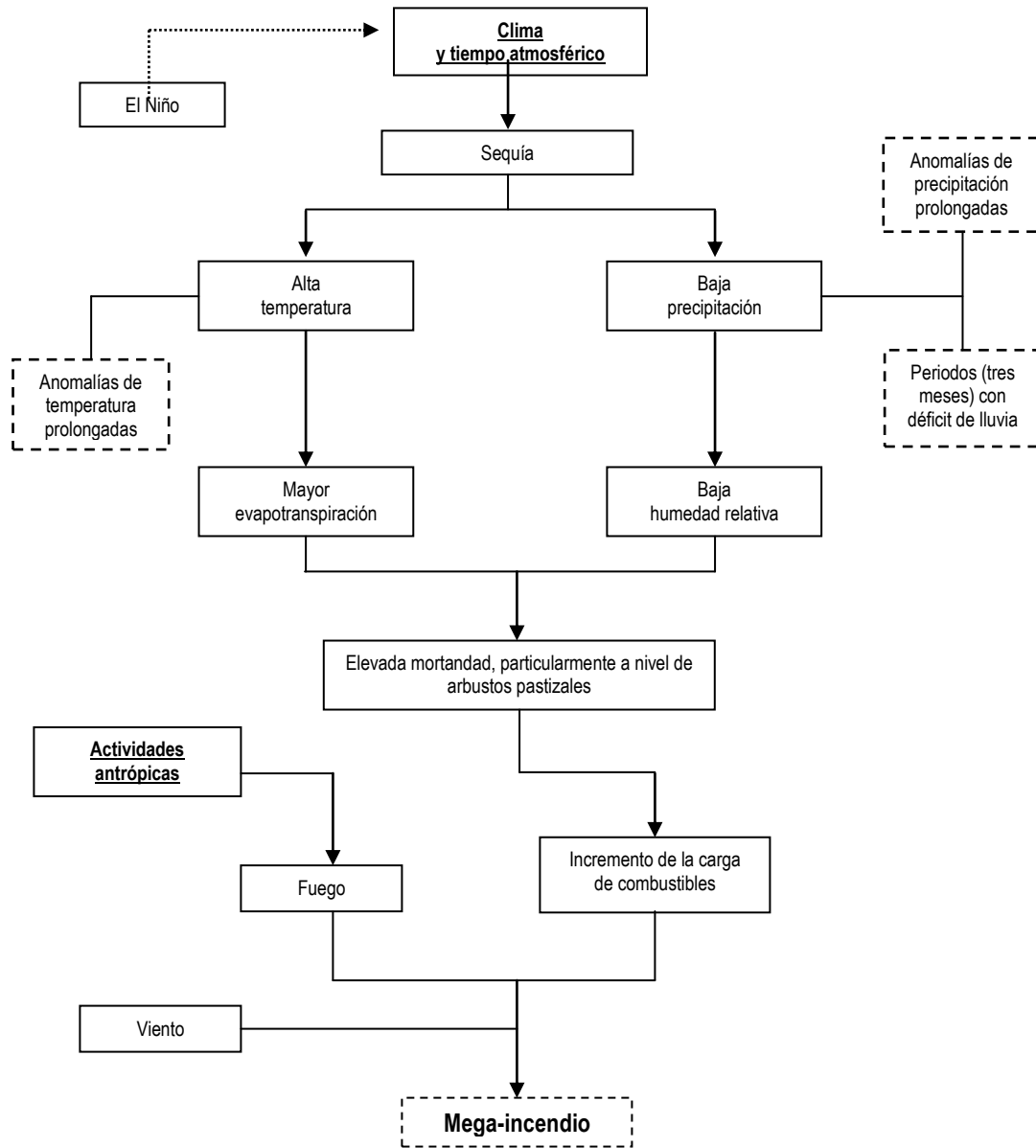


Figura 42. Mapa conceptual del desarrollo de los mega-incendios La línea punteada indica los elementos que fueron cuantificados en esta investigación.

7.4 Tipo de vegetación afectado por los mega-incendios.

Los mega-incendios se presentan según las características intrínsecas de los sitios donde tienen lugar, uno de estos factores es el tipo de vegetación. Los resultados de frecuencia por tipos de vegetación indican que los mega-incendios se presentan en bosques templados (aprox. 40 eventos en cada una de las regiones) y bosques tropicales (24 solo en el sur). En los bosques templados las comunidades vegetales interactúan de manera natural con la presencia del fuego, porque regula la diversidad, el establecimiento

de especies y fomentan la conservación de espacios abiertos para el crecimiento de árboles juveniles (Fulé y Covington, 1999; Drury y Veblen, 2007). Por el contrario, el fuego en los bosques tropicales tiene efectos más severos, los mega-incendios implican la reducción de riqueza de especies y cambios de uso de suelo, esto significa graves daños de los cuales los bosques en los trópicos difícilmente se pueden recuperar. Si bien el fuego también se presenta en los bosques tropicales, tiene periodos de recurrencia largos (de cientos de años; Barlow y Peres, 2004; Bond y Keeley, 2005).

La sequía severa afecta de distintas maneras a la vegetación, siendo algunas especies más sensibles que otras a la falta de humedad y altas temperaturas. En el caso de los bosques tropicales, Gómez-Mendoza *et al.*, (2008) sugieren por medio de análisis de precipitación y valores de NDVI que estos, son más sensibles a la variabilidad espacial y temporal de la precipitación. Pero solamente en Chiapas y Oaxaca estos bosques son afectados por grandes incendios, y probablemente se debe a que a veces se presenta apenas un 10% de la lluvia máxima registrada según el cálculo de los deciles (condiciones extremas de sequía) y se pueden generar hasta 100 ton/ha de combustible (Román-Cuesta y Martínez-Vilalta, 2005). Esto indica que la vegetación seca puede distribuirse homogéneamente sobre el piso del bosque y facilitar la dispersión del fuego sobre los bosques tropicales que incluyen selva alta y mediana perennifolia y selva baja caducifolia. Sin embargo, debe tenerse en cuenta que el comportamiento de los mega-incendios puede verse levemente afectado entre tipos de vegetación, por ejemplo, la selva baja caducifolia, puede generar cantidades menores aunque constantes de combustible por la estacionalidad tan definida que suele presentar. La tendencia actual en México del incremento de los incendios en los bosques tropicales (Conafor, 2004; Román-Cuesta *et al.*, 2004) coincide con la tendencia reportada en Indonesia (Stolle y Lambin, 2003), Brasil (Barlow y Peres, 2004) y las Islas Hawaianas (Dolling *et al.*, 2005).

En el caso de los bosques templados estos son afectados por los mega-incendios al norte y al sur de México con magnitudes y frecuencias similares. Sin embargo, como los bosques de pino, encino, y pino-encino están habituados a la presencia del fuego, y la carga de combustible fluctúa alrededor de las 69 ton/ha (Alanís-Morales *et al.*, 2007), presentan una mejor capacidad de recuperación después del fuego. Debido a esto, los bosques templados muestran mayor resistencia a los retrasos prolongados de la temporada lluviosa (Alanís-Morales y otros 2007), probablemente esto indica que son menos sensibles a periodos secos con déficit, a las anomalías de precipitación

prolongadas y que se recuperan más eficientemente de estos fenómenos que los bosques tropicales.

7.5 Efectos climáticos sobre los mega-incendios.

El análisis de la precipitación y temperatura que se llevó a cabo en esta investigación tuvo como propósito analizar las condiciones en las que se desarrollan los mega-incendios. Para comprobar los efectos de la sequía inducida por *El Niño* se calculó el acumulado de precipitación en tres diferentes tiempos: en el periodo húmedo que antecede a los incendios, en el periodo seco donde ocurren los incendios y en los tres meses previos al periodo más intenso de incendios. También se analizaron las anomalías de precipitación en los días previos a los mega-incendios y los retrasos en la temporada de lluvias.

Existen estudios en Durango que sugieren que la amplia dispersión del fuego ocurre cuando un periodo seco es seguido por un periodo húmedo, se piensa que este fenómeno induce la proliferación de vegetación fina y ligera (Drury y Veblen, 2007), que al paso del tiempo (durante el periodo seco) pierde su vigor y se marchita. Asimismo, diversas investigaciones señalaron la presencia de estas condiciones entre 1997 y 1998 (PUMA, 1998; González-Hernández y Muñoz-Robles, 2007), y se afirma que la existencia de lluvias “históricas” intensas en 1997 fue uno de los factores más importantes que produjeron grandes incendios, se asevera que estas lluvias produjeron biomasa vegetal en grandes cantidades, que posteriormente por efecto de la sequía, tuvieron altos índices de mortalidad y finalmente esto incremento el combustible.

Los resultados indican que los mega-incendios de 1998 al 2006 se presentaron después de periodos húmedos previos con cantidades normales de precipitación, no se registraron lluvias intensas o excesivas en el periodo de junio a octubre. Básicamente encontramos al norte y sur de México precipitación acumulada normal (50-80%) y solo en algunos casos se presentaron cantidades bajas de lluvia (10-40%); esto apunta a que no hubo las condiciones necesarias para el desarrollo de la biomasa extra. Nuestros resultados no concuerdan con lo reportado por Drury y Veblen (2007) donde se señalan que la sincronización de periodos secos y periodos húmedos resulta en mayores áreas incendiadas. Asimismo, las evidencias de este fenómeno en la temporada de incendios de 1998 son anecdóticas, por tanto, no hay evidencia científica que haya demostrado sus efectos en el origen de los mega-incendios. Debido a esto, y a las características del periodo seco que se analizaran más adelante proponemos que las condiciones de sequía

que se gestan después del PHP son las más relevantes para el desarrollo de los mega-incendios analizados en nuestra investigación.

En los meses del PS normalmente se presentan las condiciones que regulan la presencia y comportamiento de los incendios: precipitación baja, alta temperatura y viento rápido (Mckenzie, 2004). No obstante, en años específicos (p.e años de *El Niño*) estas condiciones vuelven más severas, Beverly y Martell (2005) afirman que un periodo con estas características determina la cantidad de vegetación que es consumida por un evento extraordinario de fuego. El análisis del PS antes de cada evento indica que numerosos sitios al norte y sur de México presentaron lluvia por debajo de lo normal en los 6 meses del periodo seco del año (noviembre a mayo). Estos datos a su vez indican que un mega-incendio casi siempre coincide con un periodo seco con déficit (es decir, con el 10, 20 o 30% de la lluvia máxima registrada). Sin embargo, nuestra evidencia demuestra que también hubo casos donde se presentaron lluvia acumulada normal (con el 40, 50, 60 y 70% de la lluvia máxima registrada). Esto sugiere que no siempre es necesario un periodo seco con déficit para producir un mega-incendio. Diversos estudios han encontrado que los grandes incendios invariablemente se relacionan al grado de sequía de todo el periodo seco del año (Barbosa y Fearnside, 2004; Morgan *et al.*, 2008), pero otros estudios reportan que el comportamiento estacional, mensual o semanal de la precipitación es el factor que influye en el estado de los combustibles y la dinámica del fuego (Van Nieuwstadt y Sheil, 2005; Aragão *et al.*, 2007). Estas afirmaciones y nuestros resultados indican que el análisis del periodo seco debe ser más detallado, pues de esa manera se puede esclarecer si el comportamiento de la lluvia de todo el periodo seco o lapsos más cortos de tiempo es suficiente para determinar las condiciones favorables para los mega-incendios.

El Periodo Seco 2 (PS2) incluye la lluvia acumulada de enero a marzo (90 días), nuestra evidencia indica que los sitios con mega-incendios presentan cantidades anormalmente bajas de lluvia (a veces hasta el 40% de la lluvia máxima registrada en 39 años). Estos datos demuestran que los últimos tres meses del PS presentan la sequía más severa y espacialmente homogénea, porque el déficit de lluvia se presenta en el 98% de los casos de mega-incendios. Esto sugiere que las condiciones en periodos de tres meses o menos inducen el estado crítico de la vegetación al norte y sur de México. Similarmente, ciertas investigaciones señalan que periodos pequeños de sequía (54 días) afectan significativamente las condiciones de los combustibles (Ray, 2005). Beverly y Martell, (2005) aseguran que periodos de solo 15 días con sequía influyen en el tamaño

de los incendios. Van Nieuwstadt y Sheil (2005) coinciden cabalmente con nuestros resultados, pues afirman que un periodo seco de tres meses (al que consideran un periodo seco de larga duración), es significativo para la ocurrencia del fuego.

Los resultados señalan que la mayor parte de los sitios con mega-incendios (84%) presentaron retrasos en la temporada de lluvias. En algunos casos (p.e año 1998) el retraso se manifiesta por un prolongado número de días (el máximo reportado en esta investigación es de 40), pero en otros, los retrasos son más breves (1-5 días). Los estudios de Pereira y otros (2005), Beverly y Martell, (2005) afirman que uno de los factores que controlan el área incendiada es la extensión del periodo seco. Este fenómeno se manifiesta alargando la duración de la sequía y por tanto la temporada de incendios. En este lapso la vegetación es sometida a periodos extensos de baja humedad que inducen la mortalidad de la misma (Van Nieuwstadt y Sheil, 2005). Los retrasos implican la intensificación de los efectos de la sequía porque esta se manifiesta por más tiempo, como esta condición se ostenta frecuentemente antes de los mega-incendios y es similar a los 30 días de retraso debido al ENOS reportado por Magaña (1999), posiblemente es un aspecto relevante en el desarrollo de los incendios extensos.

Los estudios de los últimos años han puesto énfasis en explicar la existencia de las temporadas más intensas de incendios. El objetivo deseado en muchos casos es hacer un pronóstico anticipado para prevenir los efectos de los mega-incendios. Long (2006) señala que el monitoreo de los valores mayores al promedio de temperatura máxima, los valores menores al promedio de humedad y la velocidad del viento son útiles para señalar el alto riesgo de propagación de incendios. De manera similar en esta investigación se cuantificaron los días consecutivos con anomalías de precipitación y temperatura. Las anomalías analizadas a este nivel de detalle proporcionan datos específicos acerca de las condiciones en las que se desarrolla un incendio.

Las anomalías indican que la precipitación se encuentra por debajo de lo normal en los días previos a los mega-incendios, los rangos de 1 a 30 días de anomalías en el sur y > 50 días con anomalías de precipitación negativa coinciden con las más altas frecuencias de mega-incendios. Las anomalías disminuyen los niveles de humedad favoreciendo el estrés hídrico (reducción de agua) de la vegetación. Algunos estudios han analizado la sequía por medio del cálculo de las anomalías de precipitación por trimestres (Aragão, 2007). Sin embargo Pereira *et al.*, (2005) indican que el análisis detallado de la sequía a corto plazo explica la extensión del área incendiada y consideran que 15 días son el tiempo suficiente para que la vegetación sea afectada por condiciones del clima

extremas. En este caso, las anomalías de lluvia calculadas por pentadas indican que estas se relacionan a la presencia de mega-incendios, no obstante, las evidencias indican que no existen correspondencias entre un periodo largo con anomalías y el tamaño de los mega-incendios. Posiblemente además de cuantificar los días con anomalías se debe tener en cuenta la magnitud de las mismas para poder analizar su relación con las temporadas de incendios severas.

Los mega-incendios son frecuentes en el intervalo de 0-30 días consecutivos de anomalías de temperatura positivas. La temperatura alta aumenta la evapotranspiración, altera el proceso de fotosíntesis y debilita o eleva la mortalidad de las plantas (Pausas, 2004; Piñol, 1998). Algunos autores consideran que la temperatura es el factor principal para incrementar los niveles de sequía, y otros indican que la temperatura acelera el impacto de la falta de lluvia (Ray *et al.*, 2005; NDMC, 2008). Como nuestros resultados indican que las anomalías de temperatura (hasta 3 eventos) son menos frecuentes que las de precipitación (aprox. 10 eventos) cuando se presentan los mega-incendios, probablemente las temperaturas por arriba de lo normal actúan como un acelerador de la desecación de las plantas por medio del proceso de evapotranspiración.

Se cuantificaron los casos de mega-incendios que presentaron la sincronización de anomalías negativas de precipitación y anomalías positivas de temperatura, y encontramos que la sincronización se presenta en casi todos los casos. Esto sugiere que los dos factores actúan disminuyendo la energía que se necesita para la realización de los procesos vitales de las plantas (p.e la fotosíntesis). Una vez más se hace evidente que la falta de precipitación implica que la vegetación se someta a un estrés hídrico y probablemente la temperatura elevada contribuye a eliminar la poca humedad disponible por medio de la evapotranspiración, en consecuencia la vegetación seca y consecuentemente las cargas de combustible que pueden ser consumidas en los incendios aumenta.

7.6 El efecto de *El Niño* sobre los mega-incendios.

Los PS y PS2 con déficit de lluvia (10-40%), los retrasos en la temporada de lluvias (20 o 30 días) y periodos con anomalías de precipitación negativas (30 días) y de temperatura positivas (30 días) se presentan en todos los años, aunque son más frecuentes en años de *El Niño*; mientras que, en años de *El Niño* débil, *La Niña*, o años neutrales, los sitios que reúnen estas características son menos comunes.

Por lo regular *El Niño* se manifiesta diferencialmente en el territorio Mexicano (Magaña, 1999). En el norte, los años de *El Niño* (2003 y 2005) tienden a ser más húmedos de lo normal porque el paso de frentes fríos en el norte y centro del país se incrementa, los datos de este estudio indican que en esta región solo hubo un mega-incendio por año bajo esas condiciones. Por el contrario, los años *La Niña* son más secos, (Magaña, 1999) pero en esos años (1999, 2000 y 2001) se presentan de 0 a 4 mega-incendios. La literatura reporta que la presencia de incendios forestales al norte de México esta fuertemente relacionada a la fase cálida del ENOS (Cerano-Paredes *et al.*, 2007) porque este fenómeno induce valores bajos de humedad, así como, la presencia de sequía (Drury y Veblen, 2007). Cleveland y otros (2003) señalan que desde el siglo XV los efectos más significativos del ENOS se presentan en el clima de invierno-primavera y afirman que la fuerza y la extensión espacial de sus efectos varía con el tiempo. Los resultados de Drury y Veblen (2007) y Kitzberger *et al.*, (2001) indican que al norte del país *La Niña* se sincroniza con la propagación amplia de los incendios, pero solo si *El Niño* se presenta en el año previo. En esta investigación se encontró que solo cuatro incendios se presentan cuando se cumplen estas condiciones, por lo cual, se sugiere que los eventos más severos de *El Niño* (como el de 1998), son los fenómenos que conducen el comportamiento de la mayor parte de los mega-incendios al norte del país.

Todo esto es contrastante con el efecto de *El Niño* al sur del país, ya que este fenómeno casi siempre induce la presencia de cantidades anormalmente bajas de precipitación, bajo estas condiciones ocurren de 14 (en 2003) a 8 (en 2005) mega-incendios. En cambio, en años de *La Niña* regularmente se presentan excedentes de precipitación (Magaña, 1999) lo que inhibe la propagación del fuego, los datos indican que en años con estas características existe una baja frecuencia de mega-incendios (de 3 a 5). Múltiples estudios vinculan estas condiciones anómalas del clima en el sur de México, al fenómeno de *El Niño* intenso, en este sentido Román-Cuesta y otros (2004) han encontrado vínculos entre los índices de *El Niño* (p.e el *Ecuatorial Southern Oscillation Index*) y el número de incendios.

El fenómeno de *El Niño* se manifiesta diferencialmente en el invierno y en el verano. Con este fenómeno las lluvias invernales (noviembre a mayo) disminuyen al sur del país, mientras que aumentan en el norte (Magaña, 1999). Las lluvias de verano (junio a octubre) en años de *El Niño* se ven disminuidas en la mayor parte del territorio mexicano. Como la distribución mensual de los mega-incendios ocurre de febrero a junio, sugerimos que la manifestación de *El Niño* en invierno es la fase del fenómeno más

relacionada a los incendios forestales. (Swetman y Betancourt, 1990; Kitsberger *et al.*, 2001; Cerano-Paredes *et al.*, 2007; Drury y Veblen, 2007;). Lo cual coincide con los estudios dedicados a medir la intensidad de *El Niño* (NOAA, 2008; Wolter y Timlin, 2008) y que reportan que el fenómeno de 1997-98 de invierno fue uno de los más intensos registrados. No obstante lo anterior, pensamos que es necesario mayor investigación en este sentido para detallar el efecto de *El Niño* sobre los mega-incendios.

La presencia de *El Niño* intenso en 1998 produjo un hecho sobresaliente: afectó el clima de la mayor parte del territorio nacional. En ese año se presentó una sequía caracterizada por ser una de las más severas de los últimos años (Magaña, 1999; Cleaveland *et al.*, 2003). Uno de los efectos de estas condiciones de homogeneidad climática en regiones con clima y efecto de *El Niño* contrastantes (norte y sur de México) es la alta frecuencia de mega-incendios, el norte tuvo 21 eventos y el sur 88. Estos resultados se asemejan a lo reportado por Kitzberger y otros (2001) en la Patagonia, donde los años de *El Niño* se tornan más cálidos y favorecen la propagación del fuego. Siegert y otros (2001) afirman que en Indonesia los grandes incendios de los últimos 30 años, en los bosques tropicales han sido causados por *El Niño* de 1983 y 1998, mientras que Stolle y Lambin (2003) concluyen que *El Niño* de 1998 se asocia a la destrucción causada por los incendios. No obstante, estos eventos también se atribuyen a los cambios de uso de suelo, la explotación forestal a gran escala y las deficiencias de las instituciones encargadas de prevenir y controlar los incendios.

7.7 Origen de los mega-incendios en años sin *El Niño*.

La variación anual de la frecuencia de los mega-incendios es una evidencia de que no todos los eventos obedecen a la manifestación de *El Niño* ni a su intensidad. Aunque es claro que los mega-incendios se incrementan en años de *El Niño* como 1998 (88), 2003 (15) y 2005 (9), también es claro que los mega-incendios se pueden presentar en años sin su influencia, como 2002 (6) y 2006 (3) o con la manifestación opuesta del fenómeno (*La Niña*) en 1999 (11), 2000 (8), 2001(3). No obstante los datos de la investigación indican que los mega-incendios se presentaron bajo las mismas condiciones anómalas presentes en años de *El Niño* intenso: Periodos Secos y Periodos Secos 2 con déficit, algunos retrasos en la temporada de lluvias, y días consecutivos con condiciones anómalas de precipitación y temperatura. Puede ser que las condiciones atmosféricas adversas y otros factores puedan estar fomentando la presencia de mega-incendios. En este sentido algunos autores señalan que el cambio climático es un factor que adquiere

relevancia para definir las características de los incendios (especialmente si ocurre un aumento significativo en el número de incendios) (Niklasson y Granström, 2000; Jardel, 2006), sin embargo, es necesario desarrollar ampliamente la investigación en estos tópicos con el fin de poder entender a plenitud el comportamiento del fuego a gran escala.

7.8 Disponibilidad de la información sobre mega-incendios.

Desde la perspectiva de la Geografía realizamos una evaluación espacial y temporal de la distribución de los mega-incendios para analizar las condiciones que están relacionadas a su génesis y que tienen relación con el fenómeno de *El Niño*. Aunque no profundizamos en hacer un análisis de riesgo como en cualquier fenómeno que causa un desastre (en este caso ecológico), proponemos una explicación de su origen a partir de dos variables meteorológicas como son la precipitación y temperatura, por medio de este análisis esbozamos una vía para elaborar estudios posteriores donde se calcule el posible de riesgo de mega-incendios. Creemos que la perspectiva geográfica nos permite analizar y explicar los aspectos más importantes de las causas de los mega-incendios, y además permite realizar una descripción detallada de las características del fuego. A este nivel de análisis podemos distinguir los tópicos prioritarios que ayudarían a elaborar los planes de prevención en temporadas intensas de incendios forestales. Por medio de esta investigación deseamos contribuir a elaborar políticas nacionales para proteger a los bosques de daños irreversibles que los mega-incendios pueden causar. En este sentido sugerimos que el manejo de los combustibles (control de las cantidades de material vegetal antes de la temporada de incendios); el monitoreo minucioso y divulgación de las condiciones del clima de enero a marzo; así como la regulación, vigilancia y control de las quemas agropecuarias permitiría disminuir considerablemente el riesgo de mega-incendios.

Los datos de incendios utilizados en esta investigación se basan en reportes de campo hechos por la Comisión Nacional Forestal. Con frecuencia, la localización de los incendios en esta investigación fue obstaculizada por la ausencia de coordenadas geográficas y la falta de datos precisos de la localidad afectada, esto impidió el análisis de las condiciones meteorológicas y climáticas de todos los mega-incendios (aunque esto ha cambiado significativamente en los reportes de los últimos años).

En este trabajo la integración de distintas herramientas (informes de campo e imágenes de satélite) generadas por las instituciones mexicanas nos permitió realizar un análisis de mayor precisión: a través de datos como el nombre de las poblaciones

(INEGI), el estrato de vegetación afectado (Conafor) y los puntos de calor (Conabio) se pudo obtener una localización de los mega-incendios. No obstante pensamos que el monitoreo de los incendios en México puede ser mejorado si se corrigen algunos métodos de compilación de la información, como la georreferenciación exacta de todos los incendios. Pensamos que uniformizar el apoyo en todas las entidades de la República Mexicana para la adquisición y operación de aparatos de Posicionamiento Global (GPS), la contratación o capacitación de personal dedicado a realizar la localización de los incendios y la captura de los reportes de incendios existentes en informes escritos, pero que no se encuentran en formato digital; son fundamentales para organizar y producir una base de datos de incendios de calidad en nuestro país. Por otro lado, puede decirse que con la malla de datos climatológicos Maya v1.0 (base de datos espacial interpolada) obtuvimos resultados muy similares a los obtenidos con estaciones climatológicas. Esto indica que la información de la malla es apegada a las condiciones climáticas descritas y pronosticadas con datos del Clicom.

Con base en los resultados de esta investigación, afirmamos que la falta de datos no debe ser impedimento para realizar el monitoreo de eventos críticos como los grandes incendios, debido a esto pensamos que el uso de la información disponible generada por Conafor y Conabio nos acerca al entendimiento de la dinámica de los mega-incendios y al descubrimiento de las fallas en las bases de datos concernientes al tema.

8. Conclusiones.

La intensidad del fenómeno de *El Niño* es sumamente importante en la dinámica de los mega-incendios porque debido a sus variaciones, la distribución y frecuencia de estos eventos se ve afectada. En 1998, un año con *El Niño* intenso, los mega-incendios son más frecuentes al sur del país en estados como Oaxaca y Chiapas, en cambio en Chihuahua, Durango y Tamaulipas, localizados al norte, la frecuencia de los mega-incendios es menor, no obstante en ese año en ambas regiones se registra el mayor número de mega-incendios del periodo analizado. En cambio los resultados indican que en años de *El Niño* débil, *La Niña* y años neutros la frecuencia de los mega-incendios es menor y la distribución de la mayoría se acota a los estados del sur.

Por otro lado, los resultados apuntan a que la precipitación acumulada fue normal en el verano previo a los mega-incendios, debido a esto la existencia de biomasa extra generada por supuestos excedentes de lluvia (adjudicados por algunos autores a este periodo), no favorecieron el incremento de la superficie incendiada y no constituyen un factor relevante para el incremento de la misma.

El análisis del PS señala que los efectos de *El Niño* fueron evidentes a partir de la segunda mitad del periodo (enero a marzo). En la mayor parte de los sitios con mega-incendios (74%) la lluvia acumulada presentó un déficit, posiblemente el efecto de la sequía causada por *El Niño* en invierno se manifiesta hasta estos meses en la vegetación y se sincroniza con la temporada de incendios. Con base en esta evidencia sugerimos que el monitoreo de la precipitación de los tres primeros meses del año es fundamental para explicar la acumulación de material combustible y la propagación del fuego en la temporada de incendios (marzo-mayo).

Respecto al retraso en la temporada de lluvias como un factor que prolonga los días con sequía, encontramos que pocos casos de mega-incendios reportan retrasos muy prolongados, además, el retraso puede ser poco significativo en muchos casos. Asimismo, los mega-incendios no se originan en el periodo de retraso, por tanto creemos que solo es un factor que puede reforzar las condiciones de sequía que se manifiestan desde los meses anteriores.

Los resultados de la presente investigación apuntan a que las anomalías de precipitación son más frecuentes que las anomalías de temperatura cuando existe un mega-incendio. Es decir la continuidad de días con precipitación por debajo de lo normal antes de cada evento es un factor fundamental para el desarrollo de los mega-incendios,

sin embargo, no encontramos una relación directa entre el número de días con anomalías de precipitación y la amplitud de los mega-incendios. Por otro lado, la amplitud de los periodos con temperaturas por arriba de lo normal antes de cada mega-incendio, sugiere que la temperatura actúa reforzando y acelerando el proceso de evapotranspiración. Seguramente el incremento de la mortalidad de las plantas (debido a la pérdida de humedad) deriva en el aumento de las cargas de combustible. Los resultados demuestran en casi todos los mega-incendios las condiciones anómalas de precipitación y temperatura previas, actúan en sincronización en el desarrollo de los mega-incendios.

La presencia de mega-incendios en años de *El Niño* débil, *La Niña*, y años neutrales indica la existencia de las mismas condiciones anómalas del clima que en años de *El Niño* intenso, sin embargo, se presentan con muy baja frecuencia y solo se distribuyen al sur del país. Los mega-incendios en años sin *El Niño* deben ser estudiados con mayor detalle, pues el origen de las características climáticas que los inducen es poco claro.

Los reportes de Conafor indican que las causas de los mega-incendios en México son antrópicas, el fuego es usado para la agricultura y la ganadería, pero específicamente en años de *El Niño* intenso estas quemadas se salen de control y pueden alcanzar dimensiones de más de 1,000 has. Tomando en cuenta estos dos aspectos sugerimos que el manejo de los combustibles (con quemadas controladas o por medios mecánicos) es uno de los tópicos principales que se deben abordar para prevenir los daños de los mega-incendios. No obstante, estos eventos se pueden prevenir desde el origen del fuego, pues como la mayor parte de los mega-incendios empiezan como quemadas agropecuarias, se sugiere que el reforzamiento de los lineamientos de regulación y control de este tipo de igniciones, como el de prohibir el uso del fuego en terrenos agrícolas o ganaderos colindantes con áreas forestales entre el 5 de mayo y el 5 de junio, el cual fue establecido después de 1998, disminuiría la probabilidad de desarrollo de un mega-incendio.

Finalmente como las condiciones particulares de los mega-incendios (frecuencia y superficie afectada) se presentan preferentemente al sur de México en los bosques templados y tropicales, que son los más biodiversos del país, sugerimos que su prevención es prioritaria, pues son los ecosistemas que muestran mayor sensibilidad a la falta de precipitación, y por tanto, menos resistencia al fuego.

Referencias

- Alanís-Morales, H., Rodríguez-Montes, C., Martínez-Salvador, M., Tena-Vega, M., Barragán-Ponce de León, G. (2007). Los incendios forestales en el estado de Chihuahua en los últimos diez años (1997-2006). Memorias del VII Congreso Mexicano de Recursos Forestales. Michoacán, México.
- 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* 138, Springer. pp 357-367.
- Aragão, L.E., Malhi, Yadvinder, M., Román-Cuesta, R.M., Saatchi, S., Anderson, L., Shimabukuro, Y.E. (2007). Spatial patterns and fire response of recent Amazonian droughts. *Geophysical Research Letters* 34, pp 1-5.
- Aragão, L.M., Malhi, Y., Barbieri, N., Lima, A., Shimabukuro, Y., Anderson, L., Saatchi, S. (2008). Interactions between rainfall, deforestation and fires during recent years in the Brazilian Amazonia. *Phil. Trans. R. Soc.* 363, pp 1779–1785
- Asbjornsen, H., Gallardo-Hernández, C. (2004). Impactos de los incendios de 1998 en el bosque mesófilo de montaña de Los Chimalapas, Oaxaca. En Villers, L., López, J. (Eds). *Incendios Forestales en México. Métodos de evaluación.* Centro de Ciencias de la Atmósfera. Universidad Nacional Autónoma de México. 165 pp.
- Badia, A., Saurí, D., Cerdan, R., Llurdés, J.C (2002). Causality and management of forest fires in Mediterranean environments: An example from Catalonia. *Environmental Hazards* 4, pp 23-32.
- Baker, W. (1993) Spatially heterogeneous multi-scale response of landscapes of fire suppression. *OIKOS* 66. pp 66-71.
- Baker, W. (1995). Long-term response of disturbance landscapes to human intervention and global change. *Landscape Ecology* 10(3). pp 143-159.
- Barbosa, R.I., Fearnside, P.M. (2004). Fire frequency and area burned in the Roraima savannas of Brazilian Amazonia. *Forest Ecology and Management.*
- Barlow, J., Peres, C.A., (2004). Ecological responses to El Niño induced surface fires in central Brazilian Amazonia: management implications for flammable tropical forests. *Phil. Trans. R. Soc. Lond. B.* 359, pp 367–380.
- Beckage, B., Platt, W.J., Slocum, M.G., Panko, B. (2003). Influence of the El Niño Southern Oscillation on fire regimes in the Florida Everglades. *Ecology* 84 (12), pp 3124-3130.
- Beniston, M., Stephenson, D. (2004). Extreme climatic events and their evolution under changing climatic conditions. *Global and Planetary Change* 44, pp 1-9.
- Beverly, J.L., Martell, D.L. (2005). Characterizing extreme fire and weather events in the Boreal Shield ecozone of Ontario. *Agricultural and Forest Meteorology*, 133, pp 5-16.
- BICPPEW. The Brookings Institution Center for Public Policy Education Washington D.C. (2005). The mega-fire phenomenon: toward a more effective management model. [En línea] www.wildfirelessons.net
- Binkley, D., (Reporteur; 1993). Group report: Impacts of fires on ecosystems. *Fire in the environment: The ecological, atmospheric, and climatic importance of vegetation fires.* Report of the Dahlem Workshop. Berlin, Germany.
- Bond, W.J., Keeley, J.E. (2005). Fire as a global “herbivore”: the ecology and evolution of flammable ecosystems 20 (7), pp 287-294.
- Burel, F., Baudry, J (2002). *Ecología del Paisaje. Conceptos, Métodos y Aplicaciones.* Mundiprensa, España.
- Butry, D., Mercer, D., Prestemon, J., Pye, J., Holems, T. (2001). What is the price of catastrophic wildfire? *Journal of Forestry*, pp 9-17.

- 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.
- Cenapred. Centro Nacional de Prevención de Desastres (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
- Cerano-Paredes, J., Villanueva-Díaz, J., Sánchez-Cohen, I., Arreola-Avila, J.G., Valdez-Cepeda, R.D. (2007). Memorias del VII Congreso Mexicano de Recursos Forestales. Michoacán, México.
- Choung, Y., Lee, B., Cho, j., Lee, K., Jang, I., Kim, S., Hong, S., Choung, H., (2004). Forest responses to the large-scale east coast fires in Korea. *Ecological Research*, 19 pp 43-54.
- Christensen, N.L. (1993). Fire regimes and ecosystem dynamics. Fire in the environment: The ecological, atmospheric, and climatic importance of vegetation fires. Report of the Dahlem Workshop. Berlin, Germany.
- Cleaveland, M., Stahle, D., Therrell, M., Villanueva-Díaz, J., Burns, B. (2003). Tree-ring reconstructed winterprecipitation and tropical teleconnections in Durango, México. *Climate Change* 59 pp 369-388.
- Clicom, Base de datos climatológica Nacional (1921-2003). Precipitación y temperatura máxima. Sistema Meteorológico Nacional, Comisión Nacional del Agua, Secretaría del Medio ambiente y recursos naturales.
- Cochrane, M.A. (1998). Forest Fires in Brazilian Amazon. *Conservation Biology* 12 (5), pp 948-950.
- Cochrane, M.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, pp 109.
- Comisión Nacional Forestal. Cuadro Estadístico de Incendios forestales (1998-2006). Chiapas, México.
- Comisión Nacional Forestal. Cuadro Estadístico de Incendios forestales (1998-2006). Chihuahua, México.
- Comisión Nacional Forestal. Cuadro Estadístico de Incendios forestales (1998-2006). Durango, México.
- Comisión Nacional Forestal. Cuadro Estadístico de Incendios forestales (1998-2006). Oaxaca, México.
- Comisión Nacional Forestal. Cuadro Estadístico de Incendios forestales (1998-2006). Tamaulipas, México.
- Conabio. Comisión Nacional para el Conocimiento de la Biodiversidad (2004). Puntos de calor (1999-2006). [En línea] <http://www.conabio.gob.mx>
- Conafor, Comisión Nacional Forestal (2004b). Combate de incendios forestales [En línea] <http://carpetas.semarnat.gob.mx/incendios/nueva/generalidades>.
- Conafor. Comisión Nacional Forestal (2004a). Serie Histórica de incendios 1970-2003.
- Conafor. Comisión Nacional Forestal (2006). Incendios Forestales. Guía práctica para comunicadores 44 pp.
- DeBano, L.F., Neary, D.G., Ffolliott, P.F., (1998). Fire Effects on Ecosystems. John Wiley & Sons, New York
- Dolling, K., Chu, P., Fujioka, F. (2005). A climatological study of the Keetch/Byram drought index and fire activity in the Hawaiian Islands. *Agricultural and forest meteorology* 133, pp 17-27.
- Drury, S., Veblen, T. (2007). Spatial and temporal variability in fire occurrence within yhe Las Bayas Forestry Reserve, Durango México. *Plant Ecology*.
- 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.
- FAO Food and Agriculture Organization of the United Nations (2006). Incendios [En línea] <http://www.fao.org>
- Flannigan, M., Stocks, B., Wotton, B (2000). Climate Change and forest fire The Science of Total Environment 262, pp 221- 229.
- Fulé, P. Covington, W (1999). Fire Regimes Changes in La Michilía Biosphere Reserve, Durango, México. *Conservation Biology* 13(3), pp 640-652.

- Fulé, P., Villanueva-Díaz, J., Cornejo-Oviedo, E., Brown, P., Falk, D. (2007). Incendios forestales y el clima en el norte de México. Memorias del VII Congreso Mexicano de Recursos Forestales. Michoacán, México.
- Gibbs, W. J. (1987): A drought watch system. WMO/TD-No 193. World Meteorological Organization.
- Goldammer, J.G., (1999). Forests on fire. *Science* 284, pp 1782- 1783.
- Gómez-Mendoza, L., Galicia, L. (2004). Variabilidad climática. *Ciencia y Desarrollo*, Noviembre-Diciembre 2004, pp 28-33.
- Gómez-Mendoza, L., Galicia, L., Cuevas-Fernández, M.L., Magaña, V., Gómez, G., Palacio-Prieto, J.L. (2008). Assessing onset and length of greening period in six vegetation types in Oaxaca, Mexico, using NDVI-precipitation relationships. *International Journal of Biometeorology*.
- González-Hernández, S., Muñoz-Robles, O. (2007). Análisis de los patrones de distribución espacial de puntos de calor en el estado de Chihuahua. Memorias del VII Congreso Mexicano de Recursos Forestales Michoacán México.
- González-Ramírez L.M (2005). Análisis de la distribución espacial y temporal de los incendios en estado de Oaxaca de 1998 al 2003. Tesis de Licenciatura, Facultad de Filosofía y Letras, Colegio de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México, México D.F., 168 pp.
- González-Ramírez, L.M (2007). El efecto de El Niño (ENSO) en la presencia de incendios forestales extremos. Memorias de la IV Conferencia Internacional de Incendios forestales. Sevilla, España.
- 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*, 16 (2), pp 89-94.
- <http://tresproblemas.sdsu.edu> Características de la sequía. [En línea]
- 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.
- INEGI Instituto Nacional de Geografía e Informática (2000). Conjunto de datos vectoriales de uso de suelo y vegetación. escala 1:250,000
- INEGI Instituto Nacional de Geografía e Informática (2000). Localidades. escala 1:250,000
- INEGI Instituto Nacional de Geografía e Informática (2007). Aspectos geográficos. [En línea] www.inegi.gob.mx
- INFDM Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal, (2005). [En línea] <http://www.e-local.gob.mx>
- Jardel, E. J., (2006). Viejos y Nuevos Problemas en el Sector Forestal en México. Instituto Manantlán de ecología y conservación de la biodiversidad. Universidad de Guadalajara.
- Jardel, E., Ramírez- Villeda, R., Castillo-Navarro, F., Balcázar, O. (2003). Fire management and restoration plan in The Sierra de Manantlán Biosphere Reserve, México. 2nd International Wildland Fire Ecology and Fire Management Congress, Orlando Florida.
- 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.
- Keeley, J.E., Fotheringham, C.J., Moritz, M.A. (2004). Lessons from the October 2003 wildfires in Southern California. *Journal of forestry* 102 (7) pp 26-31.
- Ketterings, Q., Wibowo, T., Noordwijk, M., Penot, E (1999). Farmers perspectives on slash-and-burn as a land clearing method for small-scale rubber producers in Sepunggur, Jambi Province, Sumatra, Indonesia. *Forest Ecology and Management* 120, pp 157-169.
- Kitzberger, T., Swetnam, T., Veblen, T. (2001). Inter-hemispheric synchrony of forest fires and the El Niño-Southern Oscillation, *Global Ecology & Biogeography* 10. pp 315- 326.
- Laurence, M. (2003). Slow burn: the insidious effects of surface fires on tropical forests. *Trends in ecology and evolution* 18 (5) pp 209-212.
- Long, M. (2006). A climatology of extreme fire weather days in Victoria. *Aust Met Mag* 55, pp 3-18.

- López-Portillo, J., Keyes, M., González, A., Cabrera, E., Sánchez, O. (1990). Los incendios de Quintana Roo: ¿catástrofe ecológica o evento periódico? *Ciencia y Desarrollo* XVI (91).
- Macmillan-Castillo (2006). Atlas Universal y de México. Macmillan Castillo. México, 143 pp.
- Magaña, V.O (Ed; 1999). Los impactos de El Niño en México. Universidad Nacional Autónoma de México-Secretaría de Gobernación. México, 219 pp.
- Maya v1.0 (2006). Base de datos climatológica nacional interpolada en malla regular (1961-2000). Precipitación y temperatura máxima. Sistema Meteorológico Nacional.
- McAneney, J., Chen, Keping., Crompton, R., Pitman, A. (2007). Australian bushfire Losses: Past, Present and Future. Memorias de la IV Conferencia Internacional de Incendios forestales. Sevilla, España.
- Mckenzie, D. (2004) La historia del fuego y su relación con el clima. En Villers, L., López, J. (Eds). Incendios Forestales en México. Métodos de evaluación. Centro de Ciencias de la Atmósfera. Universidad Nacional Autónoma de México. 165 pp.
- Metzger, J (2002). Landscape dynamics and equilibrium in areas of slash and burn agriculture with short and long fallow period (Bragantina region, NE Brazilian Amazon). *Landscape Ecology* 17, pp 419-431.
- Miranda, S., Benítez B., Flores r. (s/f). Una herramienta para el manejo de los datos climatológicos del país. Instituto Mexicano de Tecnología del agua. 6 pp.
- MMA Ministerio del Medio Ambiente. (2007). [En línea] <http://www.incendiosforestales.org/jmeteo.asp>
- Moneo, M., (2008). Tipos de sequía. [En línea] <http://www.atmosphere.mpg.de>
- Morgan, p., Heyerdahl, E., Gibson, C. (2008). Multi-season climate synchronized forest fires throughout the 20th century, Northern Rockies, USA. *Ecology* 89 (3), pp 717-728.
- Moritz, M. (1997). Analyzing extreme disturbance events: fire in Los Padres National Forest. *Ecological Applications*, 7 (4) pp 1252-1262.
- Myers, R. L. (2001). Regimenes de fuego y la conservación de la biodiversidad. Memoria del Foro de Análisis sobre la Problemática de los Incendios en las Áreas Naturales del Sur de México. Tuxla Gutiérrez, Chiapas. [En línea] <http://www.imades.org>
- NDMC National Drought Mitigation Center. (2008) What is Drought? Understanding and Defining Drought. [En línea]. www.drought.unl.edu
- 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.
- NOAA (2008). Oceanic Niño Index [En línea] <http://www.noaa.gov>
- NOAA (2008b). The Southern Oscillation Index. [En línea] <http://www.noaa.gov>
- Odekunle, T.D. (2006). Determining rainy season onset and retreat over Nigeria from precipitation amount and number. *Theoretical and Applied Climatology* 83, pp 193-201.
- Palacio, J.L., 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.
- Pereira, M., Trigo, R., da Camara, c., Pereira, J., Leite, S (2005). Synoptic patterns associated with large summer forest fires in Portugal *Agricultural and Forest Meteorology* 129, pp 11-25.
- Piñol, J., Terradas, J. Lloret, F. (1998). Climate Warming, Wildfire Hazard, and Wildfire Occurrence in Coastal Eastern Spain. *Climate Change* 38, pp 345-357.
- PUMA Programa Universitario del Medio Ambiente (1998). Incendios Forestales y Agropecuarios: prevención e impacto y restauración de los ecosistemas Programa Universitario de Medio Ambiente, Dirección General de Publicaciones, México D.F., 193 pp
- Quadri de la T., G (2005). Incendios forestales y deforestación en México: Una perspectiva analítica. [En línea] <http://www.cce.org.mx>
- Ray, D., Nepstad, D., Moutinho, P (2005). Micrometeorological and canopy controls of fire susceptibility in a forested amazon landscape *Ecological Applications* 15(5), pp 1664-1678.

- Román-Cuesta, R.M., Martínez-Vilalta, J. (2005). Effectiveness of protected areas in Mitigating fire within their boundaries: case study of Chiapas, México. *Conservation Biology* 20(4), 1074-1086.
- Román-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.
- Schoennagel, T., Veblen, T.T., Romme, W.H. (2004). The Interaction of Fire, Fuels, and Climate across Rocky Mountain Forests. *Bioscience* 54, pp 661-676.
- Schuck, E., Nganje, W., Yantio, D (2002). The role of land tenure and extension education in the adoption of slash and burn agriculture. *Ecological economics* 43, pp 61-70.
- Siegert, F., Ruecker, G., Hinrichs, A., Hoffmann, A. (2001). Increased damage from fires in logged forests during droughts caused by El Niño. *Nature* 414, pp 437-440.
- Stolle, F., Chomitz, K.M., Lambin, E.F., Tomich, T.P (2003). Land use and vegetation fires in Jambi Province, Sumatra, Indonesia. *Forest Ecology and Management* 179, pp 277-292.
- 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, pp 1-15.
- Swetman, T.W., Betancourt, J.L (1990). Fire-Oscillation relations in the Southwestern United States. *Science* 249, pp 1017-1020.
- Tacconi, L., Vayda, A (2005). Slash and burn and fires in Indonesia: A comment *Ecological Economics*, (article in press).
- Taylor, D., Saksena, P., Sanderson, P.G., Kucera, K (1999). Environmental change and rain forests on the Sunda shelf of Southeast Asia: drought, fire and biological cooling of biodiversity hotspots *Biodiversity and Conservation* 8, pp 1159 – 1117.
- The Australian (2006). An unstoppable force. *Science & Nature* 13, Dic, 2006.
- 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
- Van Nieuwstadt, M., Sheil, (2005). Drought, fire and tree survival in a Borneo rain forest, East Kalimantan, Indonesia. *Journal of Ecology* 93, pp 191-2001.
- 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-Blanco, J. (2004). Comportamiento del fuego y evaluación del riesgo por incendios en las áreas forestales de México: un estudio en el Volcán la Malinche. En Villers, L., López, J. (Eds). *Incendios Forestales en México. Métodos de evaluación*. Centro de Ciencias de la Atmósfera. Universidad Nacional Autónoma de México. 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.
- Wolter, K., Timlin, M. (2008). Measuring the strength of ENSO events: How does 1997/98 rank? [En línea] <http://www.noaa.gov>
- Zavala-Sánchez, R. (2007). Los incendios forestales en México y su relación con el ENOS 1997-1998. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México D.F., 60 pp.