

# Universidad Nacional Autónoma de México

---



**Facultad de Filosofía y Letras**

**Colegio de Geografía**



**INCENDIOS FORESTALES EN EL ESTADO DE SAN LUIS POTOSÍ, MÉXICO  
ASOCIADOS A LA SEQUÍA**

**TESIS**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
LICENCIADA EN GEOGRAFÍA**

**PRESENTA  
ALMA ROSA ESPINOZA JIMÉNEZ**

**ASESORA DE TESIS  
DRA. LETICIA GÓMEZ MENDOZA**

CIUDAD UNIVERSITARIA, MÉXICO, D.F., 2015



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



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

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

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

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

## Dedicatoria

**A mi madre**, mi ejemplo de fortaleza, valentía, constancia, inteligencia, humanidad, amistad y amor eterno. Te amo infinitamente.

**A mi padre** por darme el mejor de los regalos: la vida, y con ella la fortaleza para seguir construyendo historia. Mi amor por ti traspasa tiempo y espacio.

**A la música y al canto** por enriquecer cada momento de mi vida, por acompañarme siempre y por salvarme en innumerables ocasiones de la locura.

**A Mariana** por ser mi más entrañable amiga a pesar de las diferencias, y apoyarme siempre, hasta en la situación más inusual. Te amo, hermana.

**A Hugo, Lidia y José**, por continuar conmigo por esta vida y por hacer más alegres los días. Los amo siempre.

**A Moisés** por tomarnos de la mano y caminar juntos. Por SER y ESTAR, y por tantos y tantos momentos hermosos. Gracias por TODO, tú me inspiras cada día a ser mejor, a esforzarme y a disfrutar plenamente de esta vida. Te amo tanto.

**A mis amigos:** Nely, Andrea, Katerín, Héctor, Miguel, Nely Zeltzin, Carolina, Sandrita, Emelyn, Esther, Pavel, Alán, Odín, Ingrid, Rodrigo, Maguitos, Karen, Martín, Karean, Gerardo, Micheline, Eunice, Erika Alonzo, Ariana, Liliana, Sarita, Tania, Alexis, Sandrita M., Miguelito, Cris, Ernesto, Farid, Paulina, Mercedes, Paola, Rodolfo, Dení, Sandra T. y Marco Ugalde, por hacer de este tiempo la más grandiosa aventura de mí existir. Gracias por los buenos y malos momentos, cada uno de ellos me han ayudado a ser la persona que ahora conozco y conocen. Los quiero mucho.

Finalmente, a **todos mis profesores** no sólo de la escuela sino también de la vida. Gracias por impulsarme a llegar hasta donde ahora estoy. Los recuerdo con gran cariño y admiración. Este trabajo también es para ustedes.

## Agradecimientos

A la **Universidad Nacional Autónoma de México** por toda la formación académica, cultural, profesional y personal, y por supuesto, por ser la base para seguir cumpliendo muchas de mis metas.

Al **PUIC-México Nación Multicultural, UNAM** por ser parte de este gran logro y por el apoyo brindado de múltiples formas. Sin duda alguna este programa representa para mí y mi familia el respeto hacia los pueblos indígenas y la oportunidad para acceder a la educación media y media superior de calidad.

A la **Dra. Leticia Gómez Mendoza** por su compromiso, comprensión y consejos no sólo a nivel académico sino también a nivel personal. Gracias por la confianza y por compartir su experiencia, sus espacios y su cariño. Esta investigación no hubiera sido posible sin su apoyo.

A mis sinodales: al **Mtro. José Manuel Espinoza Rodríguez**, a la **Mtra. Angélica Margarita Franco González**, al **Mtro. Mario Casasola Montañez**, y al **Dr. José Abraham Navarro Moreno**, por la dedicación y el tiempo para la revisión de este escrito. De igual manera, por sus valiosas aportaciones y por brindarme la oportunidad de aprender de ustedes y de su experiencia.

A los integrantes del **Seminario Cambio Climático y Biodiversidad** por compartir sus conocimientos y aprendizajes y sobre todo por su amistad y apoyo. Gracias por ser un gran equipo de trabajo.

Al **Programa de Apoyo a Proyectos para la Innovación y Mejoramiento de la Enseñanza (PAPIME)** de la Dirección General de Asuntos del Personal Académico (DGAPA) de la UNAM por el otorgamiento de la beca 'Tesis de Licenciatura' dentro del proyecto con clave PE303514 titulado "Clima, Naturaleza y Sociedad", cuya responsable del proyecto fue Dra. la Leticia Gómez Mendoza.

Al **Proyecto de Investigación de la Facultad de Filosofía y Letras (PIFFyL), UNAM** por su apoyo a través del proyecto "Cambio climático y sus implicaciones en la conservación de la biodiversidad en México", cuya responsable es la Dra. Leticia Gómez Mendoza.

## ÍNDICE GENERAL

<b>Resumen</b> .....	1
<b>Introducción</b> .....	2
I.    Planteamiento del problema .....	2
II.   Hipótesis .....	3
III.  Objetivos .....	4
IV.   Marco teórico y de referencia .....	4
IV.I. Definición de cambio climático .....	6
IV.II. Variabilidad climática y cómo funciona en México .....	7
IV.III. Las sequías .....	8
V.    Justificación .....	11
VI.   Metodología .....	13
<b>Capítulo 1. Metodologías de análisis para incendios forestales</b> .....	<b>18</b>
1.1. Índices de evaluación de riesgo y/o peligro de incendio .....	19
1.1.1. Índices de sequía .....	23
1.1.2. Índices de estabilidad atmosférica .....	26
1.1.3. Índices de vegetación .....	27
1.2. Modelos para estudiar y estimar el comportamiento del fuego .....	28
1.3. Sistemas de predicción del comportamiento de los incendios forestales .....	33
1.4. Otras metodologías de análisis de incendios forestales .....	36

<b>Capítulo 2. Variabilidad climática (ENOS-El Niño-incendios forestales)</b> .....	<b>38</b>
2.1. El fenómeno de El Niño y La Niña y sus efectos .....	38
2.2. Los impactos de El Niño en el clima de México .....	45
2.3. Análisis de los incendios forestales en México .....	47
<b>Capítulo 3. Los impactos de El Niño en San Luis Potosí, México</b> .....	<b>51</b>
3.1. Años El Niño: 2003, 2004, 2005, 2006, 2007, 2009 y 2010 .....	51
3.2. Análisis de los incendios forestales en San Luis Potosí .....	66
3.3. Análisis de los puntos de calor (FIRMS-NOAA) en San Luis Potosí .....	90
3.4. Relación sequía-ENOS-SPI e incendios forestales en San Luis Potosí .....	100
<b>Discusión y Conclusión</b> .....	<b>110</b>
<b>Referencias</b> .....	<b>117</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS Y TABLAS

<b>Figura 1.</b> Modelo conceptual del desarrollo de los incendios forestales .....	11
<b>Figura 2.</b> Total de incendios forestales en México, periodo 1995-2013 .....	49
<b>Figura 3.</b> Total de superficie siniestrada en México por incendios forestales, periodo 1995-2013 .....	49
<b>Figura 4.</b> Estados con mayor superficie siniestrada ( $\leq 10,000$ ha) por incendios forestales, periodo 1995-2013 .....	50
<b>Figura 5.</b> Mapa de los municipios del estado de San Luis Potosí, México .....	53
<b>Figura 6.</b> Relación entre superficie sembrada y siniestrada en San Luis Potosí, México durante el año 2003	54
<b>Figura 7.</b> Relación entre superficie sembrada y siniestrada en el estado de San Luis Potosí, México durante el año 2004 .....	58
<b>Figura 8.</b> Relación entre superficie sembrada y siniestrada en el estado de San Luis Potosí, México durante el año 2005 .....	58
<b>Figura 9.</b> Relación entre superficie sembrada y siniestrada en el estado de San Luis Potosí, México durante el año 2006 .....	61
<b>Figura 10.</b> Relación entre superficie sembrada y siniestrada en el estado de San Luis Potosí, México durante el año 2007 .....	62
<b>Figura 11.</b> Comportamiento de la superficie siniestrada en San Luis Potosí, México durante años El Niño ....	64
<b>Figura 12.</b> Relación entre superficie sembrada y siniestrada en el estado de San Luis Potosí, México durante el año 2009 .....	65
<b>Figura 13.</b> Relación entre superficie sembrada y siniestrada en el estado de San Luis Potosí, México durante el año 2010 .....	65
<b>Figura 14.</b> Mapa de número de incendios total entre el año 2000 y 2009 para San Luis Potosí por municipio .....	66
<b>Figura 15.</b> Total de incendios forestales en el estado de San Luis Potosí, México durante el año 2000 .....	67
<b>Figura 16.</b> Superficie total de hierba y arbustos siniestrados durante el año 2000 en el estado de San Luis Potosí, México .....	68
<b>Figura 17.</b> Superficie total de renuevo siniestrado durante el año 2000 en el estado de San Luis Potosí, México .....	68
<b>Figura 18.</b> Superficie total de arbolada siniestrada durante el año 2000 en el estado de San Luis Potosí, México .....	69
<b>Figura 19.</b> Superficie total de pastos siniestrados durante el año 2000 en el estado de San Luis Potosí, México .....	69

<b>Figura 20.</b> Total de incendios forestales en el estado de San Luis Potosí, México durante el año 2001 .....	<b>70</b>
<b>Figura 21.</b> Superficie total de hierbas y arbustos siniestrados durante el año 2001 en el estado de San Luis Potosí, México .....	<b>70</b>
<b>Figura 22.</b> Superficie total de renuevo siniestrado durante el año 2001 en el estado de San Luis Potosí, México .....	<b>71</b>
<b>Figura 23.</b> Superficie total de pastos siniestrados durante el año 2001 en el estado de San Luis Potosí, México .....	<b>71</b>
<b>Figura 24.</b> Total de incendios forestales en el estado de San Luis Potosí, México durante el año 2002 .....	<b>72</b>
<b>Figura 25.</b> Superficie total de hierba y arbustos siniestrados durante el año 2002 en el estado de San Luis Potosí, México .....	<b>73</b>
<b>Figura 26.</b> Mapa de regiones fisiográficas de San Luis Potosí, México .....	<b>73</b>
<b>Figura 27.</b> Superficie total de pastos siniestrados durante el año 2002 en el estado de San Luis Potosí, México .....	<b>74</b>
<b>Figura 28.</b> Superficie total de renuevo y arbolada siniestrados durante el año 2002 en el estado de San Luis Potosí, México .....	<b>74</b>
<b>Figura 29.</b> Total de incendios forestales en el estado de San Luis Potosí, México durante el año 2003.....	<b>75</b>
<b>Figura 30.</b> Superficie total de hierba y arbustos siniestrados durante el año 2003 en el estado de San Luis Potosí, México .....	<b>76</b>
<b>Figura 31.</b> Superficie total de pastos siniestrados durante el año 2003 en el estado de San Luis Potosí, México .....	<b>77</b>
<b>Figura 32.</b> Superficie total de renuevo y arbolada siniestrada durante el año 2003 en el estado de San Luis Potosí, México .....	<b>77</b>
<b>Figura 33.</b> Total de incendios forestales en el estado de San Luis Potosí, México durante el año 2004 .....	<b>78</b>
<b>Figura 34.</b> Superficie total de hierba y arbustos, pastos y arbolada siniestrada durante el año 2004 en el estado de San Luis Potosí, México .....	<b>78</b>
<b>Figura 35.</b> Total de incendios forestales en el estado de San Luis Potosí, México durante el año 2005 .....	<b>79</b>
<b>Figura 36.</b> Superficie total de hierba y arbustos siniestrados durante el año 2005 en el estado de San Luis Potosí, México .....	<b>80</b>
<b>Figura 37.</b> Superficie total de renuevo siniestrado durante el año 2005 en el estado de San Luis Potosí, México .....	<b>80</b>
<b>Figura 38.</b> Superficie total de pastos siniestrados durante el año 2005 en el estado de San Luis Potosí, México .....	<b>80</b>
<b>Figura 39.</b> Superficie total de arbolada siniestrada durante el año 2005 en el estado de San Luis Potosí, México .....	<b>81</b>
<b>Figura 40.</b> Total de incendios forestales en el estado de San Luis Potosí, México durante el año 2006 .....	<b>81</b>



<b>Figura 41.</b> Superficie total de hierba y arbustos siniestrados durante el año 2006 en el estado de San Luis Potosí, México .....	<b>82</b>
<b>Figura 42.</b> Superficie total de pastos siniestrados durante el año 2006 en el estado de San Luis Potosí, México .....	<b>82</b>
<b>Figura 43.</b> Superficie total de renuevo y arbolada siniestrada durante el año 2006 en el estado de San Luis Potosí, México .....	<b>83</b>
<b>Figura 44.</b> Total de incendios forestales en el estado de San Luis Potosí, México durante el año 2007 .....	<b>83</b>
<b>Figura 45.</b> Superficie total de hierba y arbustos siniestrados durante el año 2007 en el estado de San Luis Potosí, México .....	<b>84</b>
<b>Figura 46.</b> Superficie total de renuevo, arbolada y pastos siniestrados durante el año 2007 en el estado de San Luis Potosí, México .....	<b>85</b>
<b>Figura 47.</b> Total de incendios forestales en el estado de San Luis Potosí, México durante el año 2008 .....	<b>85</b>
<b>Figura 48.</b> Superficie total de hierba y arbustos siniestrados durante el año 2008 en el estado de San Luis Potosí, México .....	<b>86</b>
<b>Figura 49.</b> Superficie total de pastos siniestrados durante el año 2008 en el estado de San Luis Potosí, México .....	<b>86</b>
<b>Figura 50.</b> Superficie total de renuevo y arbolada siniestradas durante el año 2008 en el estado de San Luis Potosí, México .....	<b>87</b>
<b>Figura 51.</b> Total de incendios forestales en el estado de San Luis Potosí, México durante el año 2009 .....	<b>87</b>
<b>Figura 52.</b> Superficie total de hierba y arbustos siniestrados durante el año 2009 en el estado de San Luis Potosí, México .....	<b>88</b>
<b>Figura 53.</b> Superficie total de pastos siniestrados durante el año 2009 en el estado de San Luis Potosí, México .....	<b>89</b>
<b>Figura 54.</b> Superficie total de renuevo y arbolada siniestradas durante el año 2009 en el estado de San Luis Potosí, México .....	<b>89</b>
<b>Figura 55.</b> Puntos de calor para el año 2000 en San Luis Potosí .....	<b>91</b>
<b>Figura 56.</b> Puntos de calor para el año 2001 en San Luis Potosí .....	<b>92</b>
<b>Figura 57.</b> Puntos de calor para el año 2002 en San Luis Potosí .....	<b>92</b>
<b>Figura 58.</b> Puntos de calor para el año 2003 en San Luis Potosí .....	<b>93</b>
<b>Figura 59.</b> Puntos de calor para el año 2004 en San Luis Potosí .....	<b>93</b>
<b>Figura 60.</b> Puntos de calor para el año 2005 en San Luis Potosí .....	<b>94</b>
<b>Figura 61.</b> Puntos de calor para el año 2006 en San Luis Potosí .....	<b>94</b>
<b>Figura 62.</b> Puntos de calor para el año 2007 en San Luis Potosí .....	<b>96</b>
<b>Figura 63.</b> Puntos de calor para el año 2008 en San Luis Potosí .....	<b>97</b>

<b>Figura 64.</b> Puntos de calor para el año 2009 en San Luis Potosí .....	<b>97</b>
<b>Figura 65.</b> Puntos de calor para el año 2010 en San Luis Potosí .....	<b>98</b>
<b>Figura 66.</b> Puntos de calor para el año 2011 en San Luis Potosí .....	<b>98</b>
<b>Figura 67.</b> Puntos de calor para el año 2012 en San Luis Potosí .....	<b>99</b>
<b>Figura 68.</b> Puntos de calor para el año 2013 en San Luis Potosí .....	<b>99</b>
<b>Figura 69.</b> SPI a 12 meses para el estado de San Luis Potosí entre 1995-2013 .....	<b>104</b>
<b>Figura 70.</b> Análisis de regresión del SPI a 6 meses y los incendios forestales en San Luis Potosí .....	<b>109</b>
<b>Figura 71.</b> Análisis de regresión del SPI a 12 meses y los incendios forestales en San Luis Potosí .....	<b>109</b>
<b>Tabla 1.</b> Índices de los sistemas de evaluación de riesgo y/o peligro de incendio .....	<b>19</b>

## Resumen

Esta investigación comprendió un objetivo general y cuatro objetivos particulares que fueron cumplidos y desarrollados a nivel capitular. El objetivo general fue identificar la dinámica espacial y temporal de los incendios forestales en el estado de San Luis Potosí, México durante el periodo 1995-2013, así como su relación con los eventos de sequía durante años El Niño. El primer objetivo particular fue desarrollado en el 1er. capítulo a través de la revisión y el análisis de las diversas metodologías de estudio y sistemas de monitoreo que existen para comprender el origen, el tipo, la dinámica y la extinción de los incendios. El segundo objetivo particular se cumplió en el 2º capítulo. Se estudió el fenómeno de El Niño, su contraparte La Niña y los efectos que cada uno genera en diferentes regiones del planeta (incluida la sequía), asociados al incremento de los incendios en el mundo y específicamente en México. Finalmente, el 3er. capítulo incluyó el tercero y cuarto objetivos particulares. En este apartado se analizaron los años El Niño, la distribución espacial y temporal de los incendios, la relación sequía-incendios y las posibles causas que generaron estos eventos.

La metodología en la que se basó este trabajo constó de cuatro etapas. Primero se llevó a cabo una investigación bibliografía especializada del ENOS, la sequía y los incendios forestales. Segundo, una investigación hemerográfica para caracterizar al fenómeno de sequía en México, específicamente en San Luis Potosí a través del Desinventar, del Programa de Atención a Contingencias Climatológicas (PACC) y del SIAP. Tercero, para evaluar la ocurrencia de incendios en el estado se analizaron las bases de datos de la CONAFOR para incendios y de la NASA para puntos de calor. Por último, la cuarta etapa comprendió el estudio de la variabilidad climática estatal (exceso o déficit de precipitación) a partir del Índice Estandarizado de Precipitación (SPI) de la NASA y un análisis de regresión para tres de sus escalas, con el objetivo de confirmar que no existió una correlación entre el déficit de precipitación y la incidencia de incendios forestales en San Luis Potosí.

Los resultados de este trabajo mostraron que el déficit de la precipitación y el aumento de la temperatura no influyeron en la ocurrencia de los incendios forestales y es la actividad antropogénica la que tiene un papel relevante en el incremento de estos eventos en el estado. Con este estudio se muestra la necesidad de seguir trabajando en esta línea de investigación incluyendo variables climáticas, identificando a los sectores más vulnerables y el grado de peligro y riesgo que estos eventos representan para la biodiversidad y por supuesto para las comunidades locales.

### I. Planteamiento del problema

En las últimas décadas, los incendios forestales en México han aumentado, tanto en número como en magnitud. Las temporadas más severas se registraron en los años 1988, 1998, 2011 y 2013. El área afectada comprendió, 518,265 ha, 849,632 ha, 956,405 ha y 413,837 ha, respectivamente.

El número de incendios de los años 1998, 2011 y 2013 superó el promedio de ocho mil incendios forestales en el nivel nacional, que la Comisión Nacional Forestal, CONAFOR, (2013) establece como promedio para cada año. El primer año registró 14,445, el segundo 12,113 y el tercer año 10,406 incendios. Se estima que este aumento en el número de incendios se debe principalmente al cambio de uso de suelo (ganadería, agricultura y vivienda) o por deforestación y, recientemente, a la variabilidad climática espacio-temporal. En el primer caso el crecimiento acelerado de la población asociado al bajo nivel socioeconómico y educativo, crea una presión sobre el uso del suelo que remite a la población a usar técnicas agrícolas como “tumba, roza y quema” para satisfacer la demanda de bienes y servicios ambientales de las áreas forestales.

En el segundo caso, la variabilidad de la precipitación y temperatura influyen directamente en las condiciones de humedad relativa del ambiente y la vegetación. Cuando existe una condición negativa en el comportamiento de estos factores se presenta la sequía, lo cual representa una gran acumulación de combustible (material seco) susceptible a un incendio. Es sabido que el número de incendios aumenta en forma recurrente en los meses en que la temperatura es alta (marzo-mayo) y los niveles de humedad en el aire y en los combustibles son bajos. Ante tal escenario, la sequía se hace presente y el riesgo de incendio también.

Los incendios forestales se han convertido en sucesos frecuentes de la temporada de sequía y en el primer factor de destrucción forestal cuando se trata de fuegos recurrentes y no controlados. El hecho de modificar irresponsablemente los regímenes naturales del fuego (ciclos preestablecidos) trae consecuencias de dimensiones imprevisibles no sólo a nivel local, sino también a escala regional y global, con daños a la naturaleza que repercuten en la salud y en la seguridad de las personas (CONAFOR, 2010).

El presente trabajo pretende encontrar la relación entre la variabilidad climática, específicamente durante periodos de sequía extrema durante eventos del fenómeno de El Niño y el número de incendios forestales en el estado de San Luis Potosí y, asimismo, si El Niño es la principal causa de dichos eventos o si su origen responde a cuestiones antropogénicas con actividades tales como: la tala, el cambio de uso de suelo, la expansión de la agricultura, las políticas de tenencia de la tierra, o políticas públicas ambientales.

## **II. Hipótesis**

El incremento de los incendios forestales en San Luis Potosí se asocia con un déficit de la precipitación y el aumento de la temperatura. Eventos como la sequía y el fenómeno de El Niño permiten una mayor disponibilidad de material combustible que converge en incendios. Si bien, los cambios en la variabilidad climática determinan los impactos de los incendios forestales sobre los ecosistemas, recientemente la actividad antropogénica influye en gran medida en la variabilidad climática y a su vez en la dinámica del fuego forestal debido a las prácticas agrícolas, políticas ambientales, principalmente.

### III. Objetivos

- General: Identificar la dinámica espacio-temporal de los incendios forestales en el estado de San Luis Potosí, México, en el periodo comprendido entre los años 1995 a 2013, y su relación con los eventos de sequía durante años El Niño.
  
- Particulares:
  - Revisar y analizar las diversas metodologías de estudio de incendios forestales y los sistemas de monitoreo para comprender a nivel internacional, nacional y estatal la dinámica de los incendios.
  - Analizar la influencia de la sequía generada por el fenómeno de “El Niño” y encontrar la relación con el incremento de incendios en el estado de San Luis Potosí.
  - Determinar la distribución espacial y temporal de los incendios en el estado.
  - Identificar los tipos de vegetación más afectados, así como las causas que están generando los incendios.

### IV. Marco teórico y de referencia

En México como en otros países del mundo los efectos del Cambio Climático se han observado continuamente. La ocurrencia e intensidad de los fenómenos naturales han superado los efectos que año con año van dejando a su paso, como si estos eventos se propusieran cada periodo superar marcas históricas.

Algunos de estos fenómenos han alarmado a sociedades enteras. Por mencionar algunos eventos extremos se encuentran las sequías que se padecieron en el año 2001, las cuales dejaron a su paso cientos de muertos en

diversas regiones como Florida, Centroamérica e Irán. Después, el año 2002 marcó los primeros casos de malaria en Virginia, EUA, debido a la intensa ola de calor, al mismo tiempo que presentaba los decesos de más de mil personas en la India (Segarra, 2009).

Otra ola de calor, durante el año 2003, cobró la vida de más de 1,500 personas, nuevamente en los países de India y Pakistán, aunadas a las víctimas mortales en el continente europeo (más de 35,000 muertos) (Segarra, 2009).

En el año 2004, el huracán Catarina sorprendió a la comunidad científica al ser el primer huracán registrado en el Atlántico Sur. Ese mismo año se batió el récord histórico de tornados en Estados Unidos: 1,819 en un sólo año. Por su parte, el año 2005 fue el año más cálido registrado en Norteamérica. En este año se presentó el Huracán Katrina que afectó a Florida y devastó a Nueva Orleans, al tiempo que varios ciclones de categoría 5, entre ellos Mónica, el más intenso nunca registrado (Segarra, 2009).

Acorde con Magaña (2004), las anomalías del clima experimentadas en el último siglo o por vivirse en las próximas décadas podrían incluir alteraciones en las formas como actualmente se experimenta la variabilidad interanual o interdecadal del clima. Eventos del fenómeno de El Niño más frecuentes o intensos, huracanes de mayor magnitud, ondas cálidas o frías más pronunciadas son algunas de las formas como la atmósfera podría manifestar o manifiesta las alteraciones climáticas resultado de las actividades humanas.

Ante esta crisis climática, los gobiernos del mundo crearon en 1988 el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés). Hoy en día el IPCC, está vigente y marca la pauta en cuanto al tópico de Cambio Climático se refiere. Este grupo de especialistas fue establecido conjuntamente por la Organización Meteorológica Mundial (OMM) y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) con el mandato de analizar la información científica necesaria para abordar el problema del cambio climático y evaluar sus consecuencias medioambientales y socioeconómicas, y de formular estrategias de respuesta realistas (IPCC, 2014).

Desde sus inicios el IPCC ha publicado cuatro Informes, con una

temporalidad de 6 años. Cada informe ha desempeñado un papel primordial y de acuerdo con IPCC (2014), estos informes han ayudado a los gobiernos a adoptar y aplicar políticas de respuesta al cambio climático.

#### **IV.I. Definición de cambio climático**

El IPCC (2007) define al Cambio Climático como “la variación del estado del clima identificable (por ejemplo, mediante pruebas estadísticas) en las variaciones del valor medio o en la variabilidad de sus propiedades que persiste durante largos períodos de tiempo”, generalmente decenios o períodos más largos; asimismo, destaca que “el cambio climático puede deberse a procesos internos naturales, a forzamientos externos o a cambios antropógenos persistentes de la composición de la atmósfera o del uso de la tierra, proceso que actualmente tiene mayor influencia en el clima terrestre”.

Por su parte, la Convención Marco sobre el Cambio Climático (CMCC) de las Naciones Unidas (en su Artículo 1) define al cambio climático como “cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables”. La CMCC diferencia pues, entre el cambio climático atribuible a las actividades humanas que alteran la composición atmosférica y la variabilidad climática atribuible a causas naturales (IPCC, 2007).

Se puede observar que las evidencias apuntan a que el cambio climático actual tiene su origen en actividades antropogénicas. La quema de combustibles fósiles, el cambio de uso de suelo (por ganadería, agricultura intensiva, de vivienda, etc.), la deforestación, los incendios, entre otros factores, vulneran el equilibrio de los ecosistemas, al mismo tiempo que alteran la composición de la atmósfera. De acuerdo con Magaña, Méndez, Morales y Millán (2004) el cambio climático de origen antropogénico es más bien una tendencia en las condiciones medias de las variables, mientras la variabilidad natural del clima se presenta como ciclos.



## **IV.II. Variabilidad climática y cómo funciona en México.**

El concepto de variabilidad climática denota las variaciones del estado medio y otras características estadísticas del clima (como las desviaciones típicas, sucesos extremos, etc.) en todas las escalas espaciales y temporales más amplias que las de los fenómenos meteorológicos. La variabilidad puede deberse a procesos internos naturales del sistema climático (variabilidad interna) o a variaciones del forzamiento externo natural o antropógeno (variabilidad externa) (IPCC, 2007).

En México se identifica un clima cálido-húmedo formado por dos estaciones bien diferenciadas: por una parte, una estación cálida y húmeda que comprende del mes de mayo a octubre: el verano; y otra estación fría y seca que va del mes de noviembre al mes de abril: el invierno. En la mayor parte del país, el 80% de las lluvias ocurren en verano y el resto, en invierno. Sin embargo, en el noroeste (NE) de México, el régimen de lluvias es de tipo mediterráneo, es decir con lluvias más importantes durante los meses de invierno (Vázquez, 2007).

Este ciclo anual es la forma más conocida de variabilidad de la precipitación; otros moduladores son el desplazamiento latitudinal de la Zona Intertropical de Convergencia (ZITC), el fenómeno de El Niño-Oscilación del Sur (ENOS), la presencia de Canícula o sequía de medio verano, el monzón de Norteamérica y las oscilaciones de baja frecuencia (Oscilación Decadal del Pacífico y la Oscilación Multidecadal del Atlántico).

Para este estudio, algunos de estos moduladores son de mayor interés ya que generan las condiciones que se necesitan para que un incendio forestal se presente, sin olvidar claramente que se trata de un sistema holístico que funciona a base de interrelaciones y que sin una u otra variable la variabilidad climática sería distinta.

El fenómeno de El Niño es el modulador del clima que aquí se analiza por ser un evento que en gran medida influye en el régimen de la precipitación en el país. Magaña y Morales (2004) encontraron que durante los inviernos calificados como El Niño se observa una mayor lluvia en el norte y centro del país e incluso

en la península de Yucatán, mientras que en los inviernos La Niña, las anomalías en la precipitación parecen simétricamente opuestas con respecto a El Niño. Por otro lado, el verano bajo influencia de El Niño genera las condiciones para severas sequías en la mayor parte de México, exceptuando las penínsulas, y bajo influencia de La Niña, la precipitación se observa incluso por arriba de la media en casi todo el país.

#### **IV.III. Las sequías.**

De acuerdo con Hernández, Carrasco y Alfaro (2007), una etapa de la variabilidad climática usual es la sequía, definida como un lapso de tiempo que va semanas a años, en los que la precipitación pluvial muestra un claro déficit con respecto a lo que resulta normal para la zona afectada. El termino sequía a menudo es usado como sinónimo de estiaje, aridez o desertificación, lo que conlleva a un mal entendimiento de este fenómeno natural. Es necesario aclarar que este fenómeno puede existir en la temporada de lluvia, o en la temporada de estiaje. Asimismo, puede existir una sequía en una zona árida o en una zona tropical lluviosa, inclusive en las zonas en las que el recurso hídrico es más que suficiente para satisfacer las necesidades locales de la actividad humana; la sequía podría estar presente y pasar desapercibida por la población.

Existen muchas dificultades técnicas para establecer la ocurrencia de la sequía y generalmente ésta es percibida cuando sus efectos son evidentes. No se conocen del todo las causas que la originan, su frecuencia y los efectos que generan en los ecosistemas, así como los fenómenos naturales a los que dan pauta.

El fuego es uno de los fenómenos que se desarrollan a la par o después de una sequía. De acuerdo con la CONAFOR (2013), el fuego puede ser iniciado de forma natural, accidental, intencional y por negligencia. El fuego causado en forma natural se genera por la propia radiación solar y en algunos casos por actividad volcánica; el fuego accidental tiene su origen en accidentes automovilísticos, ferroviarios, aéreos o por la ruptura de líneas eléctricas; el fuego intencional se

relaciona con los conflictos entre personas o comunidades, así como con la tala ilegal o litigios; y el fuego por negligencia es generado por la inadecuada utilización del fuego en quemas agropecuarias, fogatas de excursionistas, fumadores, quema de basura o el uso del fuego en otras actividades productivas dentro de las áreas forestales.

Cuando se trata de fuego forestal se habla de un fuego violento que se desarrolla sin control en un espacio abierto, afectando la superficie vegetal del mismo, el cual se clasifica genéricamente en función del combustible que facilita su avance y asegura su alimentación (Arnaldos, Navalón, Pastor, Planas y Zárate, 2004).

Por su parte, el Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED, 2001) define el fuego forestal como el fuego que ocurre y se propaga de una forma no controlada o programada, es decir por causas naturales o inducidas que afecta selvas, bosques o vegetación de zonas áridas o semiáridas.

El peligro de un incendio forestal estará definido por las circunstancias permanentes y transitorias que lo hacen posible. Los factores permanentes incluyen: la composición de los combustibles forestales, especies vegetales y la topografía, mientras que entre los factores transitorios se encuentran la temperatura, humedad, velocidad y dirección de los vientos y la precipitación (Myers, 2002; Bake, 1993; Kushlany Ripple, 1997, cit. por González, 2005).

Acorde con Arnaldos *et al.* (2004), el incendio puede involucrar los siguientes estratos según el tipo de vegetación:

- a) Incendio de suelo (*ground fire*). Estos incendios consumen la materia orgánica que se encuentra entre la superficie y la capa mineral del suelo, compuesta de hojarasca, raíces, residuos vegetales en descomposición, humus y turba.

Los incendios de suelo sólo se detectan por la emisión de humos, ya que normalmente arden sin llama. Avanzan lentamente debido a la escasez de oxígeno, pero la combustión puede mantenerse durante días o semanas incluso con altos contenidos de humedad (Fransen, 1987 cit. por Arnaldos *et al.*, 2004) ocasionando daños considerables en el ciclo ecológico; el

consumo de combustible es muy elevado y repercute en todos los estratos de la vegetación causando lesiones notables.

Los *ground fire* se producen especialmente en alta montaña, pero son poco frecuentes. La importancia del estudio de este tipo de incendios radica en que no sólo se desarrollan a raíz de suelo, sino que, pueden llegar a estratos superiores en la vegetación.

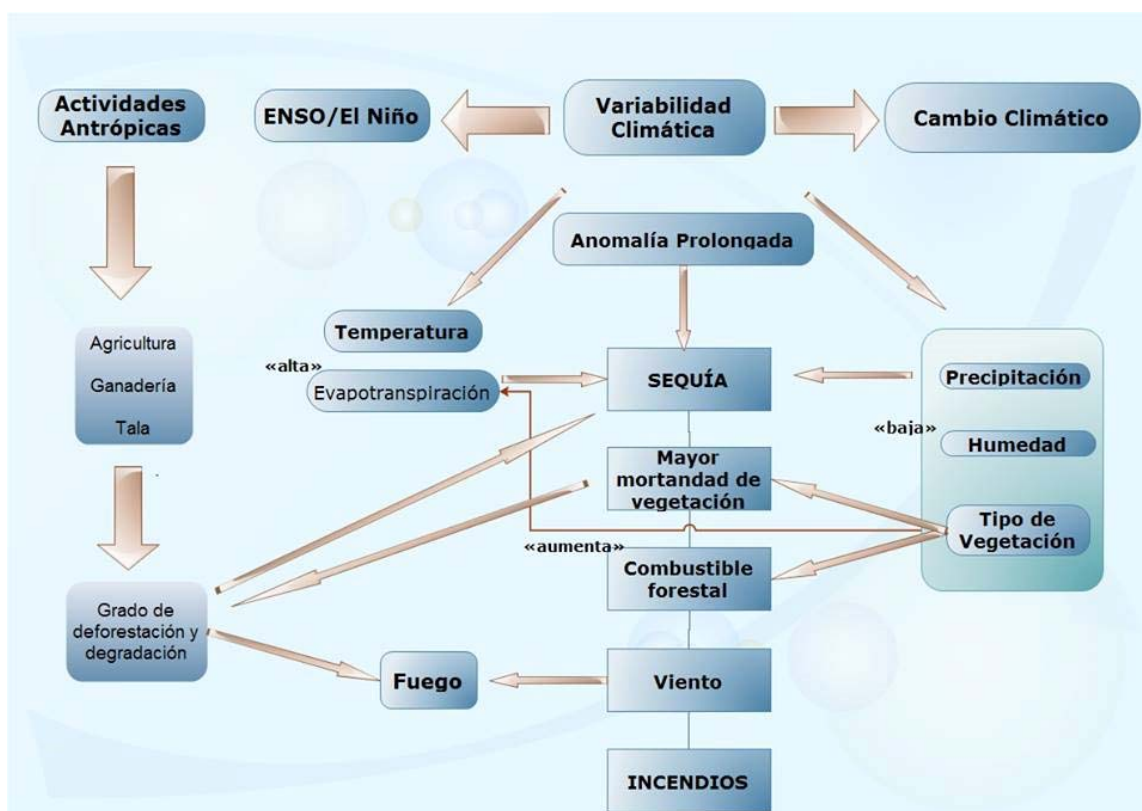
- b) incendio de superficie (*surface fire*). Este incendio consume cualquier tipo de material que se encuentre situado inmediatamente encima de la superficie del suelo y por debajo de las copas de los árboles. Este estrato comprende mayoritariamente hojarasca, ramas muertas, agujas, troncos caídos, restos de tala, vegetación herbácea y matorrales.

El comportamiento de un incendio de superficie es muy distinto en función de la topología de la vegetación involucrada. Incendios en prados, pastizales, zonas de matorral y sotobosque forman parte de esta categoría.

El curso de la propagación de los *surface fire*, puede llegar a quemar arbustos, matorrales altos y árboles pequeños. Estos casos son los más comunes y estudiados (Trabaud, 1992 cit. por Arnaldos *et al.*, 2004).

- c) Incendio de copa (*crown fire*). Este tipo de incendios conocidos como “incendios de copas”, son típicos de los bosques de coníferas y conllevan en mayor o menor grado la combustión de las copas de los árboles. La probabilidad de que ocurra un incendio de este tipo más o menos violento depende de las condiciones meteorológicas y topográficas, de la disposición del combustible aéreo y del porcentaje de combustible seco y fino que presenten las copas (Trabaud, 1992 cit. por Arnaldos *et al.*, 2004). Los incendios de copa a su vez se clasifican en: incendio de copas pasivo, incendio de copas activo, e incendio de copas independiente.
- d) Incendio integral. Definido como aquél que afecta a todos los estratos de un sistema vegetal. En muchas regiones, la continuidad vertical y horizontal del combustible de formaciones boscosas y arbustivas garantiza (cuando se produce un incendio) su carácter integral.

Es importante señalar que las categorías de clasificación de incendios forestales están en función de las variables analizadas en el desarrollo del evento; y que las anomalías en la variabilidad climática y en el clima son cada vez más extremas y frecuentes. Asimismo, se interpreta que la variabilidad actual de la atmósfera se debe a variaciones del forzamiento externo natural o antropógeno, y que en gran medida estos estados determinan el comportamiento de los incendios forestales a través de la acumulación, regulación y tipo de combustibles existentes en los ecosistemas (Figura 1).



**Figura 1. Modelo conceptual del desarrollo de los incendios forestales.** Elaborado con base en González, 2005.

## V. Justificación

Las zonas forestales son imprescindibles para la vida misma, no sólo porque son parte fundamental de los ciclos de producción y distribución del agua, sino porque

ofrecen un sinnúmero de servicios ambientales como la purificación del aire, la captura de dióxido de carbono, la creación de oxígeno, la regulación de la temperatura y la humedad (con lo que se equilibra el clima), asimismo, porque proporcionan alimento, medicina y refugio a los seres vivos, y son fuente de materia prima en muchas actividades humanas (CONAFOR, 2010).

Eventos como los incendios forestales amenazan los ecosistemas. Este fenómeno ha estado y seguirá presente en su dinámica ambiental. Si bien, el fuego puede llegar a tener una influencia positiva, su mal manejo trae consigo consecuencias negativas no sólo para la naturaleza, sino también para los hombres. De ahí la importancia del uso adecuado del fuego en áreas forestales.

En México se registran incendios forestales de diversas magnitudes, los cuales varían por las condiciones climáticas y meteorológicas entre otros factores. Estos incendios afectan en su mayoría pastizales (70-90 %) y arbustos (10 al 30 %). Los pastizales se recuperan totalmente en los primeros días de la temporada de lluvias, mientras que los arbustos tardan en hacerlo desde unas semanas hasta entre 15 y 50 años, de acuerdo a la especie y otros elementos (CONAFOR, 2010).

En el caso del estado de San Luis Potosí, la bibliografía muestra que el número de eventos no es significativo. La entidad se encuentra fuera de los estados con mayor número de incendios anuales. Sin embargo, el área afectada iguala números con entidades como Oaxaca y Baja California (estados que registran el mayor número de eventos).

El estudio del tipo y la dinámica de los incendios forestales en San Luis Potosí son de suma importancia dado que sus características fisiográficas y climáticas permitirían un mejor entendimiento de su dinámica. El estado, al contar con una morfología heterogénea y una predominancia de los climas secos como grupo climático, permite el desarrollo de vegetación susceptible a este tipo de eventos, entre la cuál destaca los matorrales xerófilos y pastizales.

Con base en datos de la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR, 2014), se ha podido observar que la mayor frecuencia de incendios en el estado de San Luis Potosí se presenta en los meses de abril y mayo debido a las altas temperaturas y al déficit en la precipitación, y por tanto a periodos de sequía. Cabe agregar, que

esta época coincide con el inicio de la actividad agropecuaria en el estado, por lo que es la temporada con mayor incidencia de incendios forestales al existir las condiciones para su desarrollo (mayor marchitamiento de la vegetación y por tanto, aumento de material combustible para el fuego).

Las anomalías en la variabilidad climática y el clima desempeñan un papel fundamental en la frecuencia, magnitud, intensidad y tipo de incendio que se llegan a presentar en México así como en San Luis Potosí; por tal razón se debe entender qué patrones rigen la precipitación y temperatura en el país y en la región para así comprender la dinámica de los incendios forestales.

Este estudio terminal de la licenciatura en Geografía pretende contribuir a un mejor entendimiento de la dinámica no sólo de la precipitación, el fenómeno de El Niño y las sequías, sino además, de eventos resultantes de la interacción de éstas y otras variables. La importancia de estas investigaciones radica en poder planificar acciones de alerta temprana y no de tipo reactivas, que traen consigo más problemas que beneficios a la sociedad y a la biodiversidad en general. Dado que las sequías y demás eventos extremos son una constante en este siglo XXI, la prevención y planificación son la mejor vía para mitigar sus efectos.

## **VI. Metodología**

Este estudio comprendió una revisión de las diversas metodologías de análisis para los incendios forestales, con el fin de entender su dinámica a escala internacional y nacional. Asimismo, se realizó una investigación bibliográfica de los fenómenos de El Niño y La Niña para establecer la relación entre el fenómeno de sequía y la presencia e incremento de los incendios forestales en el estado de San Luis Potosí.

Para caracterizar la sequía meteorológica se llevó a cabo una investigación hemerográfica a partir de la base de datos del Sistema de Inventario de Desastres (Desinventar), así como de los informes sobre sequías del Fondo para Atender a la Población Rural Afectada por Contingencias Climatológicas (FAPRACC-

SAGARPA) ahora denominado Programa de Atención a Contingencias Climatológicas (PACC), y de las diversas noticias proporcionadas por periódicos de carácter nacional y estatal. Además, se analizó la base de datos del Anuario estadístico de la producción agrícola-SIAP del estado de San Luis Potosí, para definir si existió durante este periodo una sequía agrícola o biológica, ya que este tipo de sequía ocurre después de la sequía meteorológica, y la agricultura es el primer sector económico afectado por este fenómeno (Hernández *et al.*, 2007).

El Desinventar (2014) es un sistema de adquisición, consulta y despliegue de información sobre fenómenos naturales y sociales, cuya información existe a partir de datos preexistentes, fuentes hemerográficas y reportes de instituciones en nueve países de América Latina. Para el caso de México, la base de datos comprende información del año 1970 a 2011, y para analizar los efectos de El Niño de los últimos años en México, así como en San Luis Potosí, se utilizó la base de datos entre el periodo 2002-2011.

El FAPRACC es un programa social de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA), el cual tiene como principal objetivo apoyar a los productores de bajos ingresos de las áreas de temporal afectadas por fenómenos climatológicos (sequías, lluvias, granizadas, heladas, inundaciones, tormentas tropicales, vientos y ciclones) y que no cuentan con un seguro contra dichos daños. En el año 2008 la SAGARPA tuvo una reestructuración y el FAPRACC sufrió varias modificaciones en su forma de operar y adquirió la denominación PACC, para buscar una mayor agilidad y eficiencia en su Operación. Su marco normativo y de planeación está conformado por: El Plan Nacional de Desarrollo 2007-2012; La Ley de Desarrollo Rural Sustentable, publicada en el Diario Oficial de la Federación el día 07 de diciembre de 2001, y su reforma publicada el 02 de febrero de 2007; así como de los objetivos de la SAGARPA, dentro de los cuales, se encuentra el de elevar el nivel de desarrollo humano y patrimonial de los mexicanos que viven en las zonas rurales y costeras, mismo que concuerda con los objetivos del Plan Nacional de Desarrollo (PACC-Evaluación externa de resultados, 2010).

La información analizada del FAPRACC-PACC comprendió del año 2003 a



2011, a través de los Padrones de Beneficiarios para el estado de San Luis Potosí por el fenómeno de Sequía, dado que la información sólo estaba disponible para este periodo. En términos generales, los recursos captados por el estado fueron pocos en estos años y siempre por sequías definidas como atípicas, impredecibles y no recurrentes.

El Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) es un órgano desconcentrado de la SAGARPA, y es el encargado de diseñar y coordinar la operación del Sistema Nacional de Información del Sector Agroalimentario y Pesquero, así como de promover la concurrencia y coordinación para la implementación del Sistema Nacional de Información para el Desarrollo Rural sustentable (SIAP, 2014).

De acuerdo con el VIII Censo Agropecuario (INEGI, 2007), en el estado de San Luis Potosí las siembras y cosechas de los cultivos cíclicos se concentran en dos periodos productivos: el primero, conocido como otoño-invierno, y el segundo, denominado primavera-verano. Dichos periodos reciben los nombres de las estaciones del año en que se realizan las siembras.

En el ciclo otoño-invierno de forma general, el periodo de siembras inicia en el mes de octubre y termina en marzo del año siguiente. Las cosechas generalmente inician desde diciembre y concluyen en el mes de septiembre del año siguiente. En cuanto al ciclo primavera-verano el periodo de siembras comienza en abril y finaliza en septiembre del mismo año. Generalmente, las primeras cosechas de este ciclo inician en el mes de junio y concluyen en marzo del año subsecuente.

En el análisis de la base de datos de los años agrícolas (el ciclo primavera verano, más el ciclo otoño invierno) para el estado de San Luis Potosí, se pudo observar que la proporción entre superficie sembrada y siniestrada no responde a la variabilidad climática específica que fenómenos como El Niño o La Niña generan en el país. Cabe señalar que el rendimiento de los cultivos está en función de diversos factores como el tipo de suelo, de agricultura (intensiva, extensiva), de técnicas agrícolas que se utilicen (abono, regadío, productos fitosanitarios, semillas mejoradas) y en función de la topografía, y por su puesto de

las características climáticas que determinan en gran medida su desarrollo.

En este apartado de la investigación se evaluó el periodo comprendido entre 2003-2010 debido a la falta de mayores datos en el portal oficial del SIAP-SAGARPA. Por tanto, el análisis agrícola los eventos El Niño 1982-1983 y 1998-1999 no se pudo realizar, pero se analizaron los eventos El Niño 2003, 2004-2005, 2006-2007 y 2009-2010.

Adicionalmente, también se analizaron los informes anuales (históricos) de incendios forestales de la CONAFOR (2013a) para evaluar y comprender de forma clara la dinámica espacial y temporal de los incendios forestales a escala nacional y estatal, así como a nivel municipal, principalmente en el área de estudio. Asimismo, se crearon dos bases de datos. La primera a escala nacional-estatal para el periodo 1995-2013, y la segunda a escala municipal para San Luis Potosí en el periodo comprendido entre 2000-2009. Las variables evaluadas de la base de datos nacional incluyen el año, periodo comprendido, número de incendios forestales, indicador de superficie por hectárea, y el total de superficie siniestrada por entidades más afectadas. Por su parte, la base de datos estatal contiene el número de incendios forestales, el indicador de superficie por hectárea, el total de superficie afectada por tipo de vegetación y un comparativo estadístico de todas las variables antes mencionadas.

Para corroborar la información acerca de la distribución espacial y temporal de los incendios forestales, se utilizaron los datos de los puntos de calor proporcionados directamente por FIRMS-NASA (NASA-LANCE FIRMS, 2014) y en base a esta información se realizó un compendio de mapas para el estado de San Luis Potosí. Los datos suministrados por FIRMS-NASA tienen un formato shapefile (.shp), que fueron visualizadas y procesadas en el programa ArcMap 10.1, junto con otros insumos cartográficos de carácter estatal, para obtener mapas anuales desde el año 2000 hasta el año 2013. A pesar, de que los puntos de calor pudieran ser provenientes de cualquier fuente de emisión lo suficientemente fuerte como para ser detectada por el sensor MODIS y no pudieran precisarse como incendios forestales, su estudio sirve como indicador del comportamiento de la temperatura ambiental y además ayuda a delimitar el área

más vulnerable ante posibles incendios.

Finalmente, para estudiar la variabilidad climática estatal incluyendo el fenómeno de la sequía, se analizó la precipitación a través del Índice Estandarizado de Precipitación (SPI de la NASA-North American Drought Monitor, 2014) desde el año 1995 hasta el año 2013. Para el caso de San Luis Potosí, la escala temporal que se utilizó fue a doce meses pues refleja los patrones de precipitación a largo plazo, usualmente relacionados a caudales de ríos, niveles de almacenamiento de presas, entre otras (Méndez, 2010). Asimismo, se realizaron análisis de regresión para tres escalas del SPI en el estado a 6, 12 y 24 meses, con el objetivo de confirmar que no existe una correlación entre el déficit de precipitación y la incidencia de incendios forestales en San Luis Potosí.

### Metodologías de análisis para incendios forestales

El fuego es uno de los fenómenos más importantes que influyen en la dinámica de los ecosistemas forestales. En consecuencia, el conocimiento del papel del fuego en los ecosistemas ayuda a definir bajo qué condiciones éste podría tener efectos positivos y se podría aplicar para lograr ciertos objetivos de manejo (Jardel, 2009).

La investigación ecológica ha demostrado que también existe una importante variación en los regímenes de fuego y en la respuesta de los ecosistemas y sus componentes a los efectos de los incendios.

El papel ecológico del fuego es un fenómeno complejo cuyo entendimiento es fundamental para diseñar estrategias de manejo del fuego, sobre todo donde existe la combinación de condiciones de heterogeneidad ambiental, diversidad biológica, intereses de distintos actores sociales, objetivos de conservación ecológica y el desarrollo social (López y Villers, 2004).

Los incendios forestales están presentes ahora más que en otros años en la agenda gubernamental a nivel internacional. En México de igual forma toman relevancia. La atención de la población y de los políticos ha sido capturada por este fenómeno tanto por los efectos en nivel ecológico y social, así como por “el reciente paradigma de la ecología, que enfatiza que los ecosistemas están sujetos a eventos de perturbación” (Terradas, 2001), perturbaciones tanto naturales como antropogénicas que forman parte del funcionamiento de los ecosistemas (Jardel, 2009).

El fenómeno de los incendios forestales tiene una clara manifestación territorial ya que tanto los factores como los efectos del fuego se distribuyen en el espacio. Asimismo, la estructura territorial (relieve, suelo, clima, aspecto, vegetación, etc.) influye sobre la dinámica de los incendios forestales (González,

2005).

Existen diversos sistemas y metodologías desarrolladas con el objetivo de evaluar los factores condicionantes de la ocurrencia, el comportamiento y los efectos de los incendios. (Dentoni y Muñoz, 2007). Entre ellos se encuentran los índices de evaluación de riesgo y/o peligro, así como los modelos y sistemas de predicción para estudiar y estimar el comportamiento del fuego y otras metodologías de análisis que se basan en la historia del fuego.

### 1.1. Índices de evaluación de riesgo y/o peligro de incendio

Los índices de evaluación de riesgo y/o peligro de incendio son un indicador de la contribución de un determinado factor a la probable ignición, comportamiento y dispersión de un fuego activo (Dentoni y Muñoz, 2007). Los sistemas más simples se componen de un único índice que generalmente toma en cuenta sólo el efecto de la temperatura, la humedad relativa y la precipitación para proveer información sobre la probabilidad de ignición, dada la existencia de una fuente de ignición, mientras que, los sistemas más complejos incorporan relaciones entre las variables del tiempo, el estado de los combustibles y el comportamiento del fuego para producir indicadores que provean una medida cuantitativa de las dificultades de control, en términos de características del frente de llamas, y del daño o impacto potencial que causaría el incendio (Dentoni y Muñoz, 2007) (Tabla 1).

**Tabla 1.** Índices de los sistemas de evaluación de riesgo y/o peligro de incendio

Índice	Descripción
Índice de carga de fuego	Indicador cuantitativo y/o cualitativo utilizado para evaluar el esfuerzo total requerido para contener todos los incendios probables, dentro de un área determinada y durante un período específico.

Índice de ignición	Indicador cuantitativo y/o cualitativo relacionado con la facilidad con la cual los combustibles finos (pastos, vegetación herbácea, acículas...), podrían encenderse cuando son expuestos a una fuente de ignición (cigarrillos, fósforos, rayos).
Índice de liberación de energía	Indicador cuantitativo y/o cualitativo de la razón de combustión y de la liberación de calor.
Índice de ocurrencia	Indicador cuantitativo y/o cualitativo de la incidencia potencial de focos dentro de un área determinada. Se deriva del riesgo y de la facilidad de ignición.
Índice de peligro	Indicador cuantitativo y/o cualitativo del peligro de incendios.
Índice de propagación	Indicador cuantitativo y/o cualitativo de la velocidad de propagación pronosticada para el fuego en un determinado tipo de combustibles, una determinada pendiente y bajo condiciones meteorológicas específicas.
Índice de quema	Indicador cuantitativo y/o cualitativo del esfuerzo potencial necesario para contener un incendio en un tipo de combustible en particular, dentro de un área determinada y durante un período específico.
Índice de riesgo	Indicador cuantitativo y/o cualitativo de la probabilidad de que un área esté expuesta a una fuente de ignición, ya sea natural o antrópica.
Índice de severidad estacional	Sumatoria estacional de los índices de carga de fuego.

**Compendio de índices.** Fuente: Dentoni y Muñoz, 2007.

En este sentido, se enlistan diversos índices desarrollados durante el último siglo. Se puede observar en cada descripción las características de los tipos de índices, antes referidos.

- Los índices de Nesterov y Tellysin

Estos índices fueron desarrollados en la antigua Unión Soviética. El primero es utilizado como un índice de ignición y/o ocurrencia de incendios en el área de cobertura de una determinada estación meteorológica. Los cálculos que requiere se inician en la primavera, el primer día que la temperatura supera los 0°C y después que la nieve se ha derretido; teniendo en cuenta que una precipitación

mayor o igual a 3 mm reduce el valor del índice a cero y la sumatoria comienza nuevamente. En el caso del Índice de Tellysin, si existe una precipitación superior a 2,5 mm el índice se hace cero, y comienza una nueva sumatoria al día siguiente (Dentoni y Muñoz, 2007).

- El índice de Monte Alegre

Este índice fue desarrollado para ecosistemas húmedos del sureste de Brasil, país donde se aplica junto con provincias del norte y noreste de Argentina. Se trata de un índice meteorológico acumulativo, que categoriza el peligro de incendios de vegetación.

Cabe mencionar que, cuando se producen precipitaciones durante el período de observación, el índice de Monte Alegre es corregido de acuerdo con la precipitación caída, pero si ésta es mayor a 13 milímetros caídos no se lleva a cabo ningún porcentaje descontado y se vuelve a comenzar el acumulativo de precipitación (Dentoni y Muñoz, 2007).

- El Índice de peligro francés

Los índices desarrollados en el área mediterránea francesa utilizan el balance hídrico para conocer el estado de la vegetación y otra serie de variables, entre las que destaca el viento como factor fundamental de la propagación. Hasta 1987 se utilizó el índice desarrollado por Oerieux, pero debido a las deficiencias de este índice que sobrestimaba el peligro al final de la estación de incendios, se comenzó a utilizar desde 1988 el denominado Risque Numerique Meteorologique (Chuvieco y Martín, 2004).

- El Índice de peligro de propagación de incendios forestales, desarrollado por Rodríguez y Moretti

Este índice fue desarrollado para la Región Andino Patagónica con base en el análisis de correlaciones entre las variables meteorológicas consideradas y la ocurrencia y magnitud de los incendios, durante las temporadas de incendios 1984-85, 1985-86 y 1986-87. Las variables consideradas fueron: temperatura, humedad relativa, viento y días consecutivos con o sin precipitación. Se asumió que cada una de las variables utilizadas explicaba un determinado porcentaje del peligro total de propagación del fuego. Las dos primeras variables determinan el

contenido de humedad y la resistencia a la ignición de los combustibles, mientras que, la ocurrencia o no de precipitación determinan la alternancia entre periodos secos y húmedos (Dentoni y Muñoz, 2007).

- Índice de Moran

El índice de Moran (IM) es una medida geográfico-estadística que indica el grado de correlación entre valores de unidades territoriales. El valor de este índice varía entre -1 y +1, donde los valores negativos indican una correlación espacial de unidades territoriales con valores de análisis distintos y los valores positivos indican un conglomerado espacial de unidades territoriales con valores de análisis similares, sean estos altos o bajos. Los valores del IM cercanos a cero indican la falta de una relación espacial entre los valores de análisis (Cepal, s. f.).

Como ejemplo de la utilización de este índice, se encuentra un estudio realizado en el estado de Durango, México. La investigación consta de un análisis exploratorio del padrón de distribución espacial de los incendios forestales, teniendo en cuenta como hipótesis que los incendios presentan un patrón espacial no aleatorio. Sus resultados mostraron la tendencia a la concentración de los incendios forestales mayormente sobre la zona boscosa, donde el estadístico de Moran reúne en un 98.3% la estructura global de asociación longitudinal y altitudinal entre las unidades con los incendios (Ávila, Pompa y Ávila, 2010).

- Índice de Riesgo de Incendios Forestales de la Dirección General de Conservación de la Naturaleza del Ministerio del Ambiente de España (DGCN), Caso Extremadura

Se trata de un índice que se basa en tres componentes fundamentales: riesgo de incendios asociado a la siniestralidad o frecuencia, riesgo de incendios asociado a la causalidad y el riesgo de incendios asociado al combustible disponible. El cálculo final del riesgo de incendios se define como la multiplicación de estos tres componentes, cuyo valor (índice) está dado por la clasificación propuesta por la DGCN adaptada al caso de Extremadura (Chuvieco *et al.*, 1997).



- Índice Cartográfico del Caroní

El modelo cartográfico de Riesgo de incendio fue desarrollado en trabajos previos realizados por el Centro de Simulación y Modelado de la Universidad de los Andes (CESIMO) para la Electrificación del Caroní (EDELCA), específicamente para la cuenca alta del río Caroní (Mendoza, 2002). El índice fue generado a partir de este modelo cartográfico y está compuesto de factores que varían en largos períodos de tiempo, como la ubicación de las vías principales, la ubicación de los centros poblados, la vegetación natural, característica de un área, el comportamiento histórico de los incendios, entre otros (Dávila, 2005).

- Índice meteorológico de peligro canadiense

Este índice fue desarrollado originalmente en 1970 y ha sido actualizado en sucesivas ediciones, la más reciente en 1984 (Van Wagner, 1987 cit. por Chuvieco y Martín, 2004). El índice estima el comportamiento del fuego en un tipo de combustible estándar (pino maduro) que se encuentra de forma más o menos continua a través de Canadá, en su diseño se define como principal objetivo la obtención de un índice de peligro de incendio basado sólo en la meteorología, que se utilizaría para dar resultados uniformes en todo el país (Chuvieco y Martín, 2004).

Existen otro tipo de índices que enfatizan sobre el comportamiento de una única variable, los cuáles se utilizan para complementar sistemas más complejos de análisis de incendios. Entre ellos se encuentran, los índices de sequía, índices de estabilidad de la atmósfera e índices de vegetación.

### **1.1.1. Índices de sequía**

Para comprender los efectos de la sequía y dado que es el fenómeno que en esta investigación se analizará, se presentan a continuación las características generales de este fenómeno, para una mayor comprensión.

La sequía es un término difícil de definir cuantitativamente ya que su significado depende del contexto en el que es utilizado. Así, los combatientes del fuego tienen un concepto distinto de sequía del que pueden tener los pescadores o agricultores (Dentoni y Muñoz, 2007). En vista de ello, cada índice de sequía

responde a características específicas o a diferentes tipos de sequía.

Méndez (2010), explica que “la sequía es el resultado de una precipitación por debajo de la condición “normal” que puede extenderse por un periodo largo, y donde el agua resulta insuficiente para satisfacer las demandas de las diversas actividades humanas y el medio ambiente”. Asimismo, menciona que este fenómeno natural es una característica normal y recurrente del clima, que ocurre en casi todas las zonas climáticas pero con variaciones espaciales y temporales, y que forma parte de la variabilidad climática de una región aunque en ocasiones se le considere como un evento raro y aleatorio.

En general, es posible organizar las definiciones de sequía como conceptuales y operacionales (Wilhite y Glatz, 1985 cit. por Méndez, 2010). La definición conceptual es aquella que se limita a definir y describir al fenómeno. Por otro lado, la definición operacional intenta identificar el inicio, evolución y fin del fenómeno, y a veces requiere considerar su frecuencia, severidad y duración. Analizar la sequía involucra diversas disciplinas, cada una de las cuáles puede ser de tipo meteorológico, hidrológico, agrícola y socioeconómico, y sus diferencias radican en el grado de intervención humana en el sistema. En todo caso, los diversos tipos de sequía tienen un origen común: el déficit de precipitación (Wilhite y Glatz, 1985 cit. por Méndez, 2010).

El criterio más común o más conocido es aquel que agrupa a las definiciones por tipos: meteorológico, hidrológico, agrícola y socioeconómico. Cada una proporciona una definición y caracterización distinta. Los tres primeros se aproximan más a considerar a la sequía como un fenómeno físico y la última se asocia con la sequía en términos de suministro, demanda y los efectos del déficit de agua como afectaciones en los sistemas socioeconómicos (Hernández *et al.*, 2007).

Hernández, Carrasco y Alfaro (2007) han definido estos cuatro tipos de sequía. La sequía meteorológica (también mal llamada climatológica o atmosférica) es comúnmente una reducción de la precipitación respecto a la normal en un periodo de tiempo. Estas definiciones son generalmente para una región específica y basada en un completo conocimiento de la climatología

regional.

La sequía agrícola o sequía biológica, ocurre cuando no hay suficiente humedad en el suelo para satisfacer necesidades de un cultivo en particular en un tiempo en específico. La sequía agrícola ocurre después de la sequía meteorológica pero antes de la hidrológica. La agricultura es el primer sector económico afectado por la sequía.

La sequía hidrológica, se refiere a las deficiencias en la disponibilidad de agua superficial y subterránea. Se mide por las corrientes, así como en un lago, una presa y por los niveles de agua subterránea. Hay un tiempo de retraso entre la carencia de la lluvia y la menor cantidad de agua en las corrientes, ríos, lagos y presas, así, las medidas hidrológicas no son los indicadores primarios de la sequía. Cuando la precipitación se reduce o es deficiente en un periodo de tiempo amplio esta escasez se refleja en una reducción de los niveles de agua superficial y subterránea.

La sequía socioeconómica se presenta cuando la escasez física del agua empieza a afectar a la población; en términos más abstractos, la mayoría de las definiciones socioeconómicas de sequía la asocian a la disponibilidad y demanda de un bien económico.

Por último, García y Ruiz (1989 cit. por Hernández *et al.*, 2007) mencionan un tipo de sequía más. Se trata de la sequía edáfica, la cual no es tan frecuente como las anteriores. Esta sequía se refiere a la falta de humedad en la tierra a la altura de las raíces de los árboles y plantas; es causada por una evaporación desde la superficie del suelo y por una rápida infiltración hacia el suelo.

Como se ha observado no existe una definición universal de sequía. Sus definiciones están en función de diversos criterios, tanto geográficos, como socioculturales, y al existir varios tipos de sequía, también existen múltiples metodologías para su estudio y análisis. A continuación se presentan los índices más utilizados en la literatura consultada.

- Índice de Severidad de Sequía de Palmer (PDSI).

Desarrollado en 1956 a raíz de una seria sequía que afectó algunas áreas de Estados Unidos, el índice consiste básicamente en una ecuación de balance

hídrico que muestra la demanda y la provisión de agua. La provisión de agua en el área de interés está dada por la precipitación y el almacenamiento de humedad en el suelo; la demanda está dada por la evapotranspiración potencial y la cantidad necesaria para recargar la humedad del suelo y su escurrimiento (Dentoni y Muñoz, 2007).

- Índice de Precipitación Estandarizado (*SPI*).

El Índice de Precipitación Estandarizado (*SPI*, por sus siglas en inglés) es un índice de normalización de la precipitación histórica que permite identificar condiciones de déficit o exceso de precipitación a corto y largo plazo. El índice es calculado en base en la suposición de que la distribución probabilística Gamma de la precipitación, por lo que al utilizar estos índices para ajustarlos a una distribución de probabilidad normal se le nombra como estandarización o normalización de la precipitación. Los valores son representativos de la variabilidad de la precipitación con respecto a su historial, en donde los valores extremos que exceden  $\pm 2$  para determinado periodo indican el déficit o exceso de precipitación (McKee *et al.*, 1993 cit. por SMN, 2014).

- Índice de sequía de Keetch-Byram.

Se trata de un índice Estadounidense representativo del efecto neto de la evapotranspiración y precipitación sobre el déficit acumulativo de humedad de la capa de hojarasca superior del suelo y de la capa orgánica profunda. Es un sistema de seguimiento de la humedad del suelo, diseñado para evaluar el potencial de incendios (Dentoni y Muñoz, 2007).

### 1.1.2. Índices de estabilidad atmosférica

El comportamiento de los incendios no es afectado solamente por las condiciones meteorológicas de superficie, sino también por el estado de la atmósfera en altura. El grado de estabilidad que presenta la atmósfera, es uno de los factores condicionantes del desarrollo vertical de la columna convectiva de un incendio. Por este motivo, los sistemas de evaluación de peligro de incendios se complementan con índices de estabilidad atmosférica (Dentoni y Muñoz, 2007).

- Índice de Severidad de la Baja Atmósfera

Entre los índices de estabilidad atmosférica, se encuentra el Índice de Severidad de la Baja Atmósfera, desarrollado por Haines en 1988 para uso específico en evaluación de peligro de incendios convectivos y es también conocido como Índice de Haines. Para una más completa apreciación de la posibilidad de que un incendio alcance un importante desarrollo convectivo, este índice debe ser evaluado en forma conjunta con algún índice de liberación de energía (Dentoni y Muñoz, 2007).

### 1.1.3. Índices de vegetación

Otros índices utilizados para el análisis de incendios forestales son los índices de vegetación. Se trata de instrumentos resultado de la teledetección para evaluar la condición de diferentes elementos vegetales en la superficie terrestre. Entre los índices más utilizados se encuentran:

- El Cociente Simple

El cociente simple (CS) representa la relación entre las reflectividades del infrarrojo cercano y del rojo, los cuales representan las reflectividades de la banda 4 y 3 respectivamente, para el TM y ETM+ de las imágenes Landsat (Dentoni y Muñoz, 2007).

- El Índice de Vegetación de Diferencias Normalizadas (NDVI).

Gilabert *et al.*, citado por Manzo (2009), define el índice normalizado de vegetación como un parámetro que se obtiene a partir de los valores de reflectancia de las bandas espectrales del rojo y el infrarrojo cercano de cualquier sensor satelital, cuyo intervalo al estar normalizado queda comprendido entre -1 y +1. Las áreas con vegetación presentan valores positivos del NDVI, mientras que las nubes, los cuerpos de agua y la nieve registran valores negativos, y las rocas y el suelo desnudo presentan valores cercanos a cero.

En definitiva, los índices disponibles en la actualidad varían mucho en función de las variables que consideran, los más sencillos utilizan diferentes variables meteorológicas para estimar la posibilidad de iniciarse un incendio, mientras que en los más complejos se combinan un gran número de factores a

partir de modelos teóricos y/o empíricos para conseguir índices de ignición y propagación. Aunque todos estos sistemas varían en complejidad, el nexo común a todos ellos es el objetivo de conseguir mediciones simples y comparables de la inflamabilidad del combustible forestal diariamente (Chandier *et al.*, 1983 cit. por Aguado y Camia, 1998).

## **1.2. Modelos para estudiar y estimar el comportamiento del fuego**

En el área forestal también se han desarrollado un conjunto de modelos para evaluar tanto la susceptibilidad del territorio a la ocurrencia de incendios forestales, como su evolución temporal ante escenarios climáticos concretos (Francos, s. f.).

Los incendios forestales son variables, complejos e impredecibles, y caracterizarlos siempre será un gran reto; su presencia supone elevados daños no sólo económicos y ecológicos pues además, comprende la pérdida de vidas humanas.

Para que exista un incendio forestal no basta con que se inicie el fuego, sino que además debe haber propagación, lo cual es muy distinto dependiendo del tipo de vegetación que se afecte (Porrero, 2001). Así, el comportamiento de un incendio desde el punto de vista de su evolución temporal o propagación se basa en la intensidad de la reacción que se produce durante la combustión de una partícula de combustible. Dicha intensidad de reacción se puede definir como la relación entre el calor recibido por el combustible con respecto al calor necesario para llevar dicho combustible a la temperatura de ignición (Francos, s.f.).

De esta manera, los combustibles juegan un papel fundamental pues la acumulación de los materiales combustibles en el piso del bosque constituyen uno de los factores que determinan el riesgo de incendio (Flores, 2009). Si bien, los combustibles protegen el suelo, también es necesario que la capa que forman no llegue a ser tan profunda como para favorecer la dispersión del fuego (Flores, 2001 cit. por Flores, 2009).

En el estudio de la dinámica de los incendios forestales, es clave la

modelización matemática, ya que contribuye a entender mejor la realidad física, ayuda a descubrir estructuras organizadas y nuevos comportamientos en los sistemas y permite el desarrollo de herramientas de cálculo como soporte en la toma de decisiones en materia de prevención y extinción. Estos modelos son, genéricamente un conjunto más o menos amplio de ecuaciones (planteadas a partir de balances teóricos o de observaciones experimentales, o por ambos medios) cuya solución proporciona la evolución temporal y/o espacial de una o diversas variables (Arnaldos *et al.*, 2004).

Arnaldos *et al.* (2004), proponen una clasificación genérica que engloba y permite ubicar cualquier tipología de modelo matemático que se refiera a incendios forestales. La clasificación más común es en torno a la naturaleza de sus ecuaciones, y los modelos se clasifican en: Modelos teóricos, empíricos y semiempíricos.

- ❖ El modelo teórico es generado a partir de las leyes que gobiernan la mecánica de fluidos y la transferencia de calor
- ❖ Los modelos empíricos son creados a partir de ecuaciones extraídas de la experimentación o del estudio de incendios históricos
- ❖ Los modelos semiempíricos están formados a partir de leyes físicas y complementados con datos experimentales

Asimismo, también se pueden agrupar de acuerdo a las variables de estudio en modelos de geometría de las llamas, de propagación de incendios y de predicción meteorológica de inicio y comportamiento de los incendios forestales.

Por último, según el sistema físico modelizado también se pueden clasificar de la siguiente manera: en modelos de incendios de suelo, de superficie y de copa.

Con base a esta tipología y a una revisión bibliográfica, se exponen algunos modelos matemáticos propuestos por diversos autores para el estudio de incendios forestales. Cabe añadir que estos abarcan tanto un tipo de clasificación como otro; dicho de otro modo, un modelo puede comprender, una o dos, o las tres tipologías que Arnaldos *et al.* (2004) proponen:

El modelo semiempírico de Rothermel (1972), el modelo empírico de

McArtur (1966), y el modelo empírico del Forestry Canada Fire Danger Group (1992) pertenecen al grupo de modelos de propagación de incendios de superficie y se caracterizan porque a partir de las características físicas del combustible, del terreno y de las condiciones meteorológicas, se obtienen expresiones para la velocidad de propagación del incendio, el calor desprendido en el frente, la cantidad de combustible consumido, etc. Es por ello que los complejos sistemas actuales de predicción de incendios se basan mayormente en ellos (Arnaldos *et al.*, 2004).

A continuación, se expone de manera general en que consiste cada uno:

➤ El modelo semiempírico de Rothermel (1972).

Sin duda es el más ampliamente utilizado hasta la fecha para estimar el comportamiento de incendios superficiales. Su método considera que los combustibles forestales pueden agruparse en trece modelos distribuidos en cuatro grandes grupos: pasto, matorral, hojarasca de bajo arbolado y deshecho de corta. Cada grupo representa un tipo estructural de vegetación independientemente de la especie (Porrero, 2001). Donde, las diferencias en el comportamiento de un incendio están asociadas a: la carga de combustible, la distribución en tamaño de las partículas que la forman y la humedad del combustible (Arnaldos *et al.*, 2004).

En este sentido, la *National Fire Rating System* (NFDRS) ha integrado y perfeccionando los 13 modelos de combustibles forestales, hasta sumar 20, en los cuales se establece una definición más precisa de la vegetación mediante la distinción de más modelos en cada uno de los cuatro grandes grupos, incluyendo la ampliación los combustibles forestales muertos de 20 cm de grosor (*timelag* 1000 horas) (Arnaldos *et al.*, 2004).

Algunas naciones que han adoptado los modelos de combustible de Rothermel son: España, a través del Instituto de Conservación de la Naturaleza (ICONA), Francia, mediante el *Centre d'Essai y Recherche de l'Entente* (CEREN) y México, por medio de Alvarado (1986a cit. por Rodríguez, 1996) para un análisis en masas de *Pinus montezumae*, en San Juan Tetla, Puebla.



➤ El modelo empírico de McArthur (1966).

El modelo de predicción de propagación, más ampliamente utilizado en Australia es el *McArthur forest and grassland meters* (McArthur, 1996, 1973, 1977 cit. por Arnaldos *et al.* 2004), que contempla únicamente dos modelos muy genéricos de combustible forestal:

- Pastizal y matorral (*grassland*).
- Bosques (*Forest*).

Aunque en principio se desarrolló para el este de Australia, se han utilizado también en otras zonas del país. Es conveniente no olvidar que este modelo se ha obtenido empíricamente de incendios sufridos por tipos concretos de vegetación australiana, por ello las ecuaciones obtenidas son específicas para cada tipo de combustible y no pueden ser modificadas fácilmente para adaptarlas a otros combustibles. De ahí que sean difícilmente exportables (McArthur, 1996, 1973, 1977 cit. por Arnaldos *et al.* 2004).

➤ El modelo empírico del Forestry Canada Fire Danger Group (1992).

Desde 1980 y hasta principios de los años noventa, los principales centros de investigación del Servicio Forestal Canadiense desarrollaron una metodología empírica completa para el cálculo de los principales parámetros que determinan el comportamiento de un frente de incendio, basándose en datos de incendios reales y experimentales (Forestry Canada Fire Danger Group, 1992 cit. por Arnaldos *et al.* 2004).

Entre los modelos de incendio de copa se ubican principalmente tres. Los dos primeros fueron desarrollados por Van Wagner (1977 y 1989) y el último por Finney (1993).

Los modelos desarrollados por Van Wagner son: el semiempírico de iniciación de incendios de copas (1977) y el semiempírico de propagación de incendios de copas (1989) de Van Wagner. El primero se basa en los principios teóricos combinados con observaciones experimentales y expone las condiciones para el inicio de las diferentes tipologías de incendios de copas. Posteriormente Van Wagner en el modelo semiempírico de propagación de incendios de copas modelizó la velocidad de propagación de un frente de copas activo o pasivo en

plantaciones de coníferas canadienses (Arnaldos *et al.*, 2004).

Por otra parte hacia el año 1993, Finney desarrolló una metodología para el cálculo completo de todos los parámetros de comportamiento de los incendios en los que se produce combustión de material aéreo. Esta emplea el trabajo de Van Wagner (1977) para determinar las condiciones idóneas de transición a los distintos tipos de incendios de copas (Arnaldos *et al.*, 2004).

Otro modelo matemático es el modelo teórico de Albini (1979), de acuerdo con Arnaldos *et al.* (2004) predice focos secundarios para distintas situaciones de incendio. Su trabajo corresponde a la modelización del *spotting* en incendios de copas pasivos (Albini, 1981, 1983 cit. por Arnaldos *et al.*, 2004).

Por último, se presentan los modelos matemáticos de predicción meteorológica de inicio y comportamiento de incendios forestales. Entre los sistemas más avanzados encontramos el sistema canadiense (*Fire Weather Index*, FWI) y el estadounidense (*National Fire Danger Rating System*, NFDRS). Los índices finales de estos integran tanto la ignición como la propagación, pero difieren en los tipos de combustible sobre los que están basados sus cálculos (Aguado y Camia, 1998).

The *Fire Weather Index* (FWI), es una combinación entre el índice de propagación (*Initial Spread Index*, ISI) y el índice de combustión (*Buildup Index*, BUI). El primero evalúa la peligrosidad del avance de un frente de incendio combinando la velocidad del viento con el índice de humedad fino (FFMC), y el segundo predice la cantidad de combustible disponible para quemar, por tanto, el FWI representa la intensidad de propagación del fuego medida como energía desarrollada por unidad de longitud del frente de incendio (Chuvienco y Martín, 2004).

En la literatura norteamericana el modelo de predicción meteorológica más conocido es el denominado *National Fire Danger Rating System* (NFDRS). Arnaldos *et al.* (2004) detallan una síntesis, parten de que el sistema de predicción de los Estados Unidos tiene una estructura parecida al sistema canadiense, ya que inicia con la recogida y procesado de datos meteorológicos y territoriales y, posteriormente, continúa con el cálculo de dos grandes bloques, el primero

referido a la ocurrencia de incendios forestales y el segundo a su comportamiento, y finaliza con un valor de síntesis: el índice de carga de fuego (*Fuel Load Index*, FLI).

El sistema de peligro estadounidense es representativo de los índices más teóricos, ya que tiene una fuerte fundamentación matemática y física en el análisis de la humedad del combustible (Deeming *et al.*, 1977 cit. por Aguado y Camia, 1998).

A manera de resumen, se apunta que entre los modelos de peligro operativos en los distintos países se observa una gran variedad respecto a las variables meteorológicas que utilizan, el tipo de combustible para el que se estima la humedad, así como los objetivos que persiguen. En unos casos se considera sólo la fase de ignición, mientras que en otros se intenta estimar también la propagación (Aguado y Camia, 1998).

### **1.3. Sistemas de predicción del comportamiento de los incendios forestales**

La introducción gradual de los ordenadores como herramientas de trabajo durante la década de 1980 fomentó la aparición de softwares para el cálculo de incendios integrados por diversos modelos matemáticos. El precursor de esta tendencia fue el Servicio Forestal del Departamento de Agricultura de Estados Unidos que en 1984 desarrolló la primera versión del programa BEHAVE basado en los estudios de Rothermel (1972) (Arnaldos *et al.*, 2004).

Este programa aplica primeramente a los principios físicos desarrollados inicialmente por Anderson (1969); Brown (1972) y Rothermel y Deeming (1980) entre otros, y predice el coeficiente de expansión e intensidad del fuego.

Para el desarrollo del modelo se consideran un gran número de factores, que va desde el combustible disponible, volumen, forma, continuidad vertical y horizontal, densidad de la madera, hasta la presencia de sustancias químicas volátiles (Villers, 2006). En posteriores actualizaciones se ha mejorado el

programa, tanto en lo relativo a su versatilidad (ampliándolo a incendios de superficie, de copas y a la formación de focos secundarios) como en la presentación de la interfase visual con el usuario (facilitando la entrada de datos y la obtención de resultados en forma tabular o gráfica) (Arnaldos *et al.*, 2004).

Entre sus limitantes encontramos el frecuente requerimiento de ajustes a los datos, el inconveniente de que los combustibles deban ser homogéneos, y por último que sólo puede evaluar incendios superficiales y no de copa (Villers, 2006).

Evidentemente, éste sistema marcó los antecedentes para el desarrollo de otros softwares a nivel internacional. Los avances en un modelo de simulación de este tipo, no sólo proveen información sobre los efectos de la expansión e intensidad del fuego sino, marca en sí mismo un avance en la investigación y la constante actualización de estos sistemas.

Asimismo y con base en este programa, Estados Unidos generó un software más, el programa de cálculo de incendios forestales, NEXUS (Fire Behaviour and Hazard Assessment System). NEXUS, es un sistema de fácil acceso ya que se basa en una hoja de cálculo tipo Excel y a diferencia de del programa "BEHAVE", éste analiza los incendios de copa relacionándolos con los de superficie. Se usa para estimar superficie, transición y conducta de fuego de copa. Asimismo, genera índices específicos de chamuscado y fuego potencial de la copa, construye y prueba los modelos de combustibles de superficie personalizados por el usuario, y se pueden evaluar tratamientos alternativos para reducir riesgo de fuego de copa, además explora la influencia de factores diferentes en el fuego predictivo, conducta y potencial para la actividad de fuego de corona en un incendio hipotético (Villers, 2006)

Otro país pionero en el ámbito informático es Canadá. En esta nación los procedimientos para la predicción del comportamiento de los incendios de superficie y de copas fueron implementados en el sistema FBP. De acuerdo con Arnaldos *et al.* (2004), el sistema FBP dispone de sus propios modelos de combustible definidos como una asociación de elementos combustibles de distintas especies, con diferentes formas, medidas y composición, que representan, sin embargo, un comportamiento similar en cuanto a los incendios.

Este sistema está basado en los modelos empíricos de predicción de incendios de superficie y de copas desarrollados por el Forestry Canada Fire Danger Group (1992) y en el sistema canadiense para la determinación del riesgo meteorológico de incendio (*Canada Forest Fire Weather Index FWI System*).

Por otra parte, Australia a través del CSIRO (*Commonwealth Scientific and Industrial Organisation*) hizo lo propio con los trabajos de McArthur, integrándolos en el Sistema de Cálculo *Csiro Fire Calculator*, cuyo programa es una sencilla aplicación de Windows para el cálculo de la velocidad de propagación, en incendios de pastos y de la velocidad de propagación, altura de la llama y distancia máxima de ocurrencia de focos secundarios, en incendios de copas.

En el caso de México hacia 1987, se generó el sistema EXTINGE (Experto Técnico en Incendios Generalizados), que se define como un sistema híbrido que combina la tecnología de la inteligencia artificial con la de la simulación, en un ambiente integrado y de fácil manejo para usuarios inexpertos (Armijo y Sierra, 1988 cit. por Rodríguez, 1996).

El sistema tiene tres propósitos básicos:

- Apoyar las labores de combate de las cuadrillas, asistiéndoles con recomendaciones de control
- Contar con una herramienta para capacitar personal simulando un diálogo con un experto que le puede explicar los motivos que dieron origen a las recomendaciones
- Integrar y procesar la información sobre las campañas para apoyar la identificación de los patrones de incendio y el desempeño global de la campaña

Por último, se encuentra el Programa FARSITE. Villers (2006) lo describe como un software de simulación de incendios forestales que sobre el entramado de un sistema de información geográfica (SIG), incorpora los modelos matemáticos para la predicción del comportamiento de incendios de superficie, de copas (activos y pasivos) y la creación de focos secundarios presentes en BEHAVE, integrándolos en una técnica de simulación de propagación elíptica ondulatoria.

#### 1.4. Otras metodologías de análisis de incendios forestales

Para entender los efectos del clima sobre el fuego se tiene que considerar no sólo los registros meteorológicos y de incendios recientes, sino también los patrones históricos presentes antes de la influencia del manejo de los ecosistemas y de otras actividades humanas en el siglo XX (Mckenzie, 2004).

Los estudios de la historia del fuego pueden ser una importante fuente de información tanto en lo referente a los pronósticos y los efectos del cambio climático como en el manejo de los regímenes del fuego. La aplicación de los métodos de la historia del fuego ha permitido obtener relaciones coherentes entre los patrones espaciales y temporales de los incendios y la variabilidad climática, la sequía, y los patrones semiperiódicos (Mckenzie, 2004).

El método que utiliza sedimentos de carbón es uno de los más utilizados para entender las relaciones entre el clima y los regímenes históricos de los incendios. Este tipo de registros se extraen de una muestra del fondo del lago ya que, estas depresiones en tierra firme guardan diversos registros de acontecimientos geológicos como erupciones volcánicas, ecológicos como las hojas de árboles que han muerto y de incendios como el carbón.

Donald Mckenzie (2004) explica que en el método a través de sedimentos se puede calcular la velocidad de la acumulación del carbón ( $CHAR = \text{“}CHarcoal\ Accumulation\ Rate\text{”}$ ) por la relación estadística entre la profundidad de un fragmento y la velocidad de sedimentación (Clark y Royall 1996, Prichard 2003). Esto se lleva a cabo con una combinación de dos métodos: el cálculo de las fechas aproximadas del carbono radiactivo y una calibración con fechas conocidas por otros medios, como las erupciones representadas por niveles de ceniza. La resolución temporal es como máximo de diez años (Prichard 2003), pero la extensión temporal puede exceder los 10 mil años (Millsbaugh *et al.* 2000, Prichard 2003).

Otro método utilizado para analizar la historia del fuego es aquel que utiliza árboles quemados. Su técnica consiste en estudiar las cicatrices en los árboles

aunados al recuento de los anillos de crecimiento, lo cual permite datar incendios con una resolución anual (Fritts y Swetnam, 1986 cit. por Mckenzie, 2004). Cada árbol puede registrar muchas quemaduras superficiales, además de la historia de los incendios de un punto específico. Asimismo, con una muestra suficiente de árboles quemados se pueden describir los regímenes históricos del fuego (Mckenzie, 2004).

En este sentido, un método más de análisis es la dendrocronología. Definida como la ciencia que estudia los anillos de crecimiento de los árboles, el tiempo de formación y su relación con las condiciones medioambientales pasadas de un sitio (Kaennel y Schweingruber, 1995 cit. por Giraldo, 2011). Así, el empleo de los anillos de crecimiento de las plantas leñosas permite cuantificar en forma precisa las velocidades del crecimiento radial de los árboles en diferentes ambientes naturales, así como determinar diferencias en las estructuras poblacionales del bosque con relación a factores tales como el suelo, los disturbios y el clima (Villalba *et al.*, 2000).

El desarrollo de la dendrocronología supone una excelente herramienta en la investigación científica, permite no sólo conocer el crecimiento de los árboles durante su ciclo de vida; además proporciona información sobre fenómenos naturales y antropogénicos y las fechas específicas en las que tuvieron lugar dichos disturbios.

Entre los eventos que pueden ser registrados en los anillos de los árboles se encuentran, la sequía, los monzones, las plagas, los procesos de remoción en masa, procesos erosivos y procesos de reptación del suelo; así como incendios forestales.

En el caso de los Incendios forestales, las cicatrices de fuego permiten la reconstrucción histórica y la descripción de las características inmediatas del régimen de fuegos que han afectado a ecosistemas boscosos (McBride, 1983; Lara *et al.*, 1999; Kitzberger *et al.*, 2000; González *et al.*, 2005 cit. por Medina, 2007).

### Variabilidad climática (ENOS-El Niño-incendios forestales)

#### 2.1. El fenómeno de El Niño y La Niña y sus efectos

El término “El Niño” fue acuñado hace más de 100 años para describir el calentamiento ocasional de las aguas del océano Pacífico a lo largo de las costas de Ecuador y Perú (IRI, 2002). El conocimiento popular sugiere que la expresión “El Niño” (literalmente, “El Niño Jesús”) fue usada por los pescadores peruanos, quienes habían observado la aparición anual de agua cálida a lo largo de la costa occidental alrededor de la Navidad (durante el verano en el hemisferio Sur, que corresponde al invierno en el hemisferio Norte) (Arntz, 1996; Capel, 1999; Glantz, 1996; Magaña *et al.*, 1998; Zebiak, 1999), que remplazaba en forma temporal las aguas normalmente frías durante unos pocos meses (Glantz, 1996). En algunos años, el calentamiento a lo largo de la costa no se disipaba dentro de los meses habituales, sino que se quedaba durante más de un año. A este comportamiento también se denominó El Niño (Glantz, 1996).

Hoy en día el término El Niño se utiliza para referirse a un fenómeno de escala mucho más amplia asociada con el agua inusualmente cálida, que en ocasiones se forma en gran parte del Pacífico tropical oriental y central. El tiempo entre eventos sucesivos de El Niño es irregular, pero por lo general tienden a repetirse cada 3 a 7 años (IRI, 2002).

Así como se habla del fenómeno El Niño, existe una contraparte climática conocida como La Niña. Durante ese periodo, la temperatura de superficie del mar en la región del Pacífico tropical centro-este es más baja de lo normal y los efectos en el clima del planeta son aproximadamente opuestos a los observados durante El Niño. Muchos piensan que el estado normal del clima es la fluctuación entre



Niños y Niñas, en lo que se conoce como ENOS (El Niño-Oscilación del Sur) (Magaña, 2004).

La Oscilación del Sur se trata de un fenómeno meteorológico que consiste en el intercambio de energía a nivel del mar entre las áreas del Pacífico occidental y sureste. La combinación de la reducción o expansión de las aguas calurosas en el Pacífico Oriental y los cambios fuertes de la Oscilación del Sur ahora suele llamarse El Niño Oscilación del Sur o ENOS (Zebiak, 1999).

De acuerdo con Avaria (2004) y como lo ha señalado Magaña (2004), el ciclo ENOS consiste en una oscilación entre una fase cálida (El Niño) y una fase fría (La Niña), que se manifiesta principalmente a través de un calentamiento o enfriamiento anormal de la Temperatura Superficial del Mar (TSM) en el océano Pacífico ecuatorial central y oriental. Este ciclo se desarrolla en forma aperiódica y en una escala de tiempo mayor que la corriente de El Niño, ya que su aparición se presenta a intervalos irregulares que oscilan aproximadamente entre los 3 y 7 años. Cabe señalar que, durante los años en los que se manifiesta la fase cálida del ciclo ENOS, se genera un fortalecimiento de “la corriente de El Niño”.

McPhaden (1993) define el fenómeno El Niño-Oscilación del Sur (ENOS) como una perturbación interanual del sistema climático, oceánico y atmosférico con intensas y amplias consecuencias para la sociedad y los ecosistemas en todo el mundo.

Con el término El Niño se hace referencia a la componente oceánica y el concepto “Oscilación del Sur” a la componente atmosférica. Es necesario entender que el ENOS no es un fenómeno aislado que sólo comprende al Pacífico tropical, parte de la atmósfera global, a un clima y a una región específica, sino se trata de un elemento importante del complejo sistema de fluctuaciones climáticas, del océano y de la atmósfera, como ya se ha mencionado.

Para analizar al fenómeno de El Niño a nivel oceánico se desarrolló el Índice Oceánico El Niño (ONI, Oceanic Niño Index), el cual es uno de los índices primarios utilizados para monitorear a El Niño-Oscilación del Sur (ENOS). El ONI (por sus siglas en inglés) se obtiene mediante el promedio de las anomalías de la temperatura de la superficie del mar con base en el periodo 1971-2000 y un

promedio de tres meses sucesivos (la anomalía del mes, la anomalía del mes que le antecede y la del mes que le sigue) en un área del Océano Pacífico ecuatorial centro-este denominada región de El Niño 3.4 (5°N a 5°S; 170°W a 120°W) (NOAA, 2014).

En condiciones “normales (sin presencia de El Niño)” en el Océano Pacífico tropical los vientos dominantes cerca de la superficie provienen del Este y se denominan alisios, y tienden a acumular el agua más caliente hacia el lado Oeste, alrededor de la región de Australia e Indonesia. Por ser elevada la temperatura de superficie del mar (>28°C), el aire es más ligero y forma una atmósfera inestable en la que hay una gran formación de nubes y lluvias intensas. Por el contrario, el océano Pacífico tropical del Este es más frío (<25°C), debido a las surgencias de agua del fondo del océano. Así, la presencia de agua relativamente fría inhibe la formación de nubes profundas, por lo que se tiene poca lluvia en las costas de Perú y Chile (Magaña *et al.*, 1998).

En años El Niño, los vientos alisios (vientos del Este) se debilitan en el Pacífico, dando paso al desplazamiento de las aguas más cálidas del Pacífico occidental por el Pacífico central y oriental (Arntz, 1996; Capel, 1999; Glantz, 1996; Magaña *et al.*, 1998, McPhaden, 1993; Zebiak, 1999). Aunque no parece un gran aumento en la temperatura del Pacífico Este (~2°C), la cantidad de energía (calor) involucrada sí aumenta, y de ahí los cambios que se dan en el clima global. Tal corrimiento en los patrones de lluvia no se debe a mayor evaporación *in situ*, sino a mayor convergencia de humedad en la región. Con tales cambios, donde antes llovía poco (Islas del Pacífico del Este o Perú) ahora se producen lluvias intensas e incluso inundaciones, mientras que donde antes llovía mucho lloverá menos y habrá sequías, como en el Pacífico del Oeste (Indonesia, el Norte de Australia, entre otros) (Magaña *et al.*, 1998).

Arntz (1996) con base en la media de los datos de seis años del fenómeno El Niño (1950-1975) describió un “El Niño clásico”. Los datos analizados corresponden al transcurso relativamente uniforme de los eventos El Niño, el desarrollo estacional de la temperatura del agua y el nivel del mar del Pacífico. La media de estos datos según Arntz (1996), se compararon con la media de años

sin El Niño.

Durante el desarrollo de un El Niño clásico se presentan temperaturas superficiales elevadas en más de 2°C en el Pacífico Oriental de noviembre del año anterior hasta febrero del año siguiente, las que en el transcurso del evento se desplaza hacia el oeste. También se observan anomalías en el nivel del mar, y tal como en la temperatura también en el nivel del mar se muestran diferencias claras entre el Pacífico Oriental y Occidental. En el oeste se manifiesta en años sin El Niño una oscilación semestral, mientras que durante un El Niño se observa un fuerte ciclo anual con un mínimo evidente de 20 cm debajo del nivel del mar promedio en diciembre y enero. En el este El Niño sólo ocasiona un refuerzo del ciclo estacional con la misma fase que con años sin El Niño, y los niveles del mar más altos de alrededor de 10 cm encima del nivel del mar se presentan en abril (Arntz, 1996).

Sin embargo no existe tan sólo un tipo de El Niño. Los eventos El Niño que los científicos han considerado como típicos (aquéllos que se produjeron en los años posteriores a la guerra hasta 1982) son diferentes en varios aspectos de aquellos posteriores a 1982. Así, a pesar del avance hecho en la comprensión del fenómeno El Niño en general, ha sido difícil para los científicos identificar el tiempo preciso de inicio o de decaimiento de un evento cálido o de un evento frío, o el alcance geográfico o intensidad de ambos (Glantz, 1996).

Es así que este evento de la variabilidad climática se entiende como una anomalía en términos de cambios en las temperaturas de superficie del mar y en la presión a nivel del mar.

Acorde con la NOAA (2014), desde el año 1950 hasta 2013 se han presentado 19 eventos El Niño. De los cuales los más significativos en términos ambientales y sociales han sido los Niños de 1982-1983 y 1997-1998.

Glantz (1996), describe al Niño de 1982-1983 como una anomalía extrema, porque además de ser inusual, era considerado por la comunidad científica el evento más extremo, hasta El Niño del periodo 1997-1998. Por otro lado, Arntz (1996) estableció que este evento difirió bastante del ciclo clásico, tanto en la sucesión temporal de las fases que ya había descrito, como en la intensidad de las

anomalías, dando pie a que el evento no pudiera ser predicho y a una intensa actividad de investigación, que hizo resaltar las relaciones físicas que hasta ese periodo todavía no se habían tenido en cuenta.

Un elemento que caracterizó este Niño, fue la presencia de temperaturas anómalamente cálidas de la superficie del mar, presentes por primera vez en el Pacífico central en vez de a las afueras de la costa del Perú. Las temperaturas cálidas de la superficie del mar se movieron hacia el oriente hacia la costa sudamericana, en vez de aparecer por primera vez a lo largo de la costa y luego moverse en dirección occidental alejándose de ella (Glantz, 1996).

Asimismo, las anomalías de vientos que presagian la ocurrencia de un El Niño se hicieron presentes muy débilmente durante la primavera de 1982 del Hemisferio Norte, y en Julio la anomalía de los vientos fue suficientemente fuerte para pensar que algo extraño estaba ocurriendo en el Pacífico Central, aun cuando se pensaba que un debilitamiento en los vientos que soplaban hacia el occidente era una condición necesaria, aunque no suficiente, para desatar el inicio de El Niño (Glantz, 1996).

Glantz (1996), enlista con base a informes de periódicos los impactos sociales declarados de este Niño, donde destacan sequías severas (el sur de Perú y Bolivia, noreste de Brasil, Sudáfrica, Zimbabwe, Botswana, Monzambique, Angola, Lesotho y Zambia) que en el caso de Indonesia resultó en reducidas producciones agrícolas, hambruna, desnutrición, enfermedades y cientos de muertos, así como en Incendios forestales para Australia, mientras que en la costa sur de California, EUA se presentaron tormentas costeras y deslizamientos de tierra e inundaciones. De igual manera el sur de Brasil, norte de Argentina y Paraguay enfrentaron inundaciones destructivas.

Para el caso de México y Centroamérica, los efectos de El Niño fueron severos, provocando sequías, incendios y pérdidas estimadas en cerca de 600 millones de dólares en sus economías (Magaña *et al.*, 1998). Finalmente, Voituriez y Jacques (2000) estimaron para el evento de 1982-1983 daños en alrededor de 10 mil millones de dólares americanos y aproximadamente unas 2,000 víctimas.

Por otra parte, el evento de El Niño de 1997-1998 fue el más intenso del

siglo XX y uno de los más anómalos de todos los eventos registrados: primero y quizás lo más importante, por la gran intensidad y cobertura espacial que mostró hacia finales de 1997; segundo, por haber iniciado su gestación con unos dos meses antes que el promedio de todos los anteriores; y tercero, por la magnitud de las teleconexiones que se han podido derivar del mismo; es decir, por los distintos fenómenos directamente influidos por el ENOS (Reyes y Troncoso, 2001).

En enero de 1997, predominaban anomalías negativas de TSM en todo el pacífico ecuatorial y no se advertían señales premonitorias del inicio de un evento El Niño de grandes dimensiones. La fase de crecimiento inicial de las anomalías positivas de TSM en el Pacífico ecuatorial central no se diferenció significativamente de episodios anteriores. En particular la evolución de la TSM durante el otoño austral de 1997 fue muy similar a la registrada en el inicio del evento de 1972-1973. La diferenciación más significativa con eventos previos, y específicamente con el evento 1982-1983, fue el rápido crecimiento de las anomalías de TSM durante la fase de crecimiento (Aceituno, 1998).

La fuerte intensificación del evento de El Niño durante el segundo semestre de 1997 también se advierte en el comportamiento de los vientos alisios. Cabe hacer notar que la componente del este de viento a 850 hPa en el Pacífico ecuatorial (unos 1500 metros sobre el nivel del mar) no sólo se debilitó en forma extrema, sino que en junio y octubre se registraron periodos con flujo inverso (la componente zonal del este) (Aceituno, 1998)

Las mayores anomalías de TSM en la región Niño 3 se registraron en diciembre de 1997 (+3.9°C), las cuales superaron ligeramente el valor máximo registrado durante el evento de 1982-1983 (+3.6°C en enero de 1983). En la región Niño 1+2, la máxima anomalía térmica se registró en diciembre de 1997 (4.5°C) que superó los valores máximos registrados en esa etapa durante el evento de 1982-1983. Para finalmente, entrar en la etapa de declinación en enero de 1998. Las anomalías de la TSM en la región Niño 3 (5°N-5°S; 150°W-90°W) disminuyeron en forma sistemática hasta finales de abril cuando se registró una breve reactivación del evento. Esta fue inmediatamente seguida por una abrupta disminución de anomalías positivas de TSM, produciéndose a fines de mayo una

transición hacia condiciones anormalmente frías en el Pacífico ecuatorial central (Aceituno, 1998).

A partir de abril de 1998, los vientos alisios comenzaron a intensificarse mostrando una evolución similar a la observada durante la fase de declinación del evento 1982-1983. En términos de los indicadores de presión y de la Oscilación del Sur, el término del evento de El Niño de 1997-1998 estuvo marcado por una sostenida disminución de las anomalías positivas (negativas) de presión de Darwin y Tahití a partir de marzo de 1998, lo cual contribuyó a un rápido proceso de normalización del Índice de la Oscilación del Sur (Aceituno, 1998).

Aceituno (1998) menciona que al igual que el evento de 1982-1983, el episodio de 1997-1998 provocó fuertes anomalías climáticas a nivel mundial, en particular, en América del Sur se registraron intensas precipitaciones y severas inundaciones en Chile central durante el invierno y la primavera de 1997 y en sectores costeros del norte de Perú y del sur del Ecuador, así como en las cuencas de los ríos Paraná y Uruguay durante el verano y otoño de 1998. También se registraron déficit pluviométricos significativos y sequías en la región norte del continente (Colombia, Venezuela, Guyanas y el sector norte de la cuenca Amazónica) durante gran parte de la duración del evento y en el noreste de Brasil durante el otoño austral de 1998.

Así mismo, El Niño 1997-1998 fue uno de los eventos climáticos más estudiados en su origen y evolución. Muchos países tomaron acciones preventivas ante los posibles impactos negativos, pero también para aprovechar los efectos positivos. Los usos potenciales de la información anticipada fueron casi ilimitados. Por ejemplo, los productores de café en Kenia enfrentaron una mayor demanda de este producto cuando la sequía afectó a las cosechas de Brasil e Indonesia. Por otro lado, la disminución en la producción de aceite de palma en Filipinas durante este episodio se convirtió en oportunidad para otros productores (Magaña y Morales, 2004).

Los estudios y el conocimiento que se están formando sobre el fenómeno de El Niño y otros fenómenos de la variabilidad climática nos ayudan a comprender de mejor forma la génesis, el desarrollo y los impactos que pueden o

no generar en diversas regiones del planeta. A partir de esta información, naciones de todo el mundo podrán crear planes de prevención, mitigación y adaptación que ayuden a reducir notablemente los efectos negativos tanto para las poblaciones, la infraestructura y por supuesto en el ámbito ambiental, haciéndonos menos vulnerables. Además, es importante entender que este tipo de fenómenos son parte de nuestra vida y más que eventos catastróficos o desastres naturales como erróneamente han sido llamados, son fenómenos naturales que llevan cientos de años desarrollándose y evolucionando como cualquier otro sistema.

## **2.2. Los impactos de El Niño en el clima de México**

México, por su ubicación geográfica, es afectado por sistemas meteorológicos de latitudes medias durante el invierno, y por sistemas tropicales en el verano (Magaña *et al.*, 2004). Los sistemas que definen en mayor medida la dinámica atmosférica durante verano son: la Zona Inter-Tropical de Convergencia (ZITC), el monzón mexicano, las ondas del este y los huracanes en el Pacífico, el Caribe y Golfo de México; en tanto que, los sistemas presentes en invierno son los llamados Nortes.

Debe tomarse en cuenta al analizar la dinámica atmosférica factores de frontera como la topografía, el uso de suelo y la presencia de mares, que en gran medida determinan el tipo de clima que se experimenta regionalmente (Magaña *et al.*, 2004).

Así como estos elementos y factores propios de la dinámica atmosférica que definen, influyen o modifican el clima y/o el tiempo atmosférico, es necesario considerar también las variaciones estacionales y no estacionales, las cuales generan cambios en la precipitación en diferentes escalas espaciales y, por ende, influyen en el comportamiento de la sequía. Estas condiciones constituyen una parte importante de la circulación tropical y, por tanto influyen en la presencia, ausencia, escasez y distribución de la lluvia en México. Algunas de estas condiciones son: El Niño-Oscilación del Sur (ENOS), la Oscilación Cuasi-bienal

(OCB, en inglés QBO), la Oscilación Madden Julian (en inglés MJO), la Oscilación Decadal del Pacífico (ODP, en inglés PDO), la oscilación Multidecadal del Atlántico (OMA, en inglés AMO) y la oscilación del Atlántico Norte (OAN, en inglés NAO) (Hernández et al., 2007).

La literatura indica que el fenómeno de El Niño tiene gran influencia en la variabilidad climática y en las actividades socioeconómicas. Este fenómeno de escala planetaria interviene directamente en el régimen de lluvias, tanto de verano como de invierno en nuestro país.

Magaña *et al.*, (2004), han identificado que durante muchos veranos El Niño en México las lluvias disminuyen en la mayor parte del país llegando con frecuencia a producir sequías. En este periodo la zona intertropical de convergencia (ZITC) del Pacífico del este, donde existe gran cantidad de nubes profundas y lluvia, tiende a permanecer más cercana del ecuador, asimismo se observa una intensificación de los vientos alisios sobre el Caribe y la región del Golfo de México, que puede inhibir la entrada de humedad por las costas del Pacífico, debilitando la componente orográfica de la lluvia y con ello, la posibilidad de formación de nubes profundas y lluvias en la costa del Pacífico de México. También se debe tomar en cuenta como factor esencial para las lluvias de verano la actividad de huracanes (Jáuregui, 1989, cit. por Magaña, 2004). La disminución de las lluvias en México durante años El Niño, principalmente en la región del noreste, está asociada con el decremento en el número de huracanes en el Caribe y Golfo de México (DeMaria y Kaplan, 1994, cit. por Magaña, 2004).

Por el contrario, durante veranos La Niña, las lluvias, en la mayor parte de México, son cercanas a lo normal, pudiendo incluso ser anómalamente intensas. Varios son los factores que resultan en mayores lluvias, pero quizá el más importante sea la actividad de ondas del este y los huracanes en el Caribe y Golfo de México (Magaña *et al.*, 2004).

En los inviernos El Niño, la corriente de chorro de latitudes medias, en la que el movimiento ciclónico de latitudes medias se encuentran inmersos, se desplaza hacia el sur, provocando una mayor incidencia de frentes fríos y lluvia en la zona norte y centro de México (Magaña, *et al.*, 1998), mientras que durante



años La Niña, las anomalías en la precipitación de invierno parecen simétricamente opuestas con respecto a las observadas en años de El Niño (Magaña *et al.*, 2004).

Por lo expuesto anteriormente, ha de destacarse que el impacto de El Niño en las lluvias de invierno de México no es siempre el mismo, principalmente cuando se analizan los cambios a nivel regional y temporal de las anomalías de lluvia y temperatura de un año El Niño a otro. Algunos eventos como el de 1986-1987 no parece haber resultado en mucha mayor lluvia de invierno, incluso El Niño de 1982-1983, aunque produjo lluvias invernales por encima de lo normal, tuvo un impacto aparentemente menor al del invierno de 1991-1992; mientras que El Niño de 1997-98 sólo impactó el norte de Baja California, parte de Sonora y la península de Yucatán (Magaña *et al.*, 2004).

### **2.3. Análisis de los incendios forestales en México**

La presencia del fenómeno de El Niño-ENSO (anomalías en la presión atmosférica y temperatura) y el papel de la sequía (déficit en la precipitación) son fundamentales para el desarrollo de los incendios forestales, sin embargo se debe tener siempre presente que estas condiciones de la variabilidad climática responden a un complejo conjunto de variables y no siempre la interacción entre ellas tienen la misma respuesta que en eventos previos.

Asimismo, es importante definir qué tipo de sequía se estudiará para así identificar su inicio, evolución, duración y las posibles consecuencias del evento.

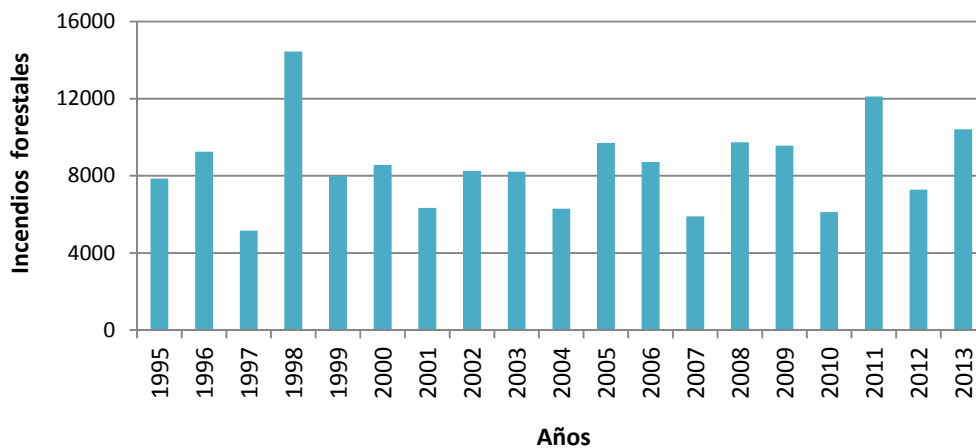
Como ya se había mencionado, los incendios forestales tienen una clara manifestación territorial, ya que tanto los factores como los efectos del fuego se distribuyen en el espacio y, la estructura territorial (relieve, suelo, clima, aspecto, vegetación, etc) influye sobre la dinámica de los incendios forestales (González, 2005); por lo tanto, no sólo las variables antes mencionadas (precipitación y temperatura) definen el inicio y evolución de un fuego forestal.

De acuerdo con la CONAFOR (2013a), durante las temporadas de sequía aumenta el riesgo de incendios ocasionados de manera natural debido a diversas

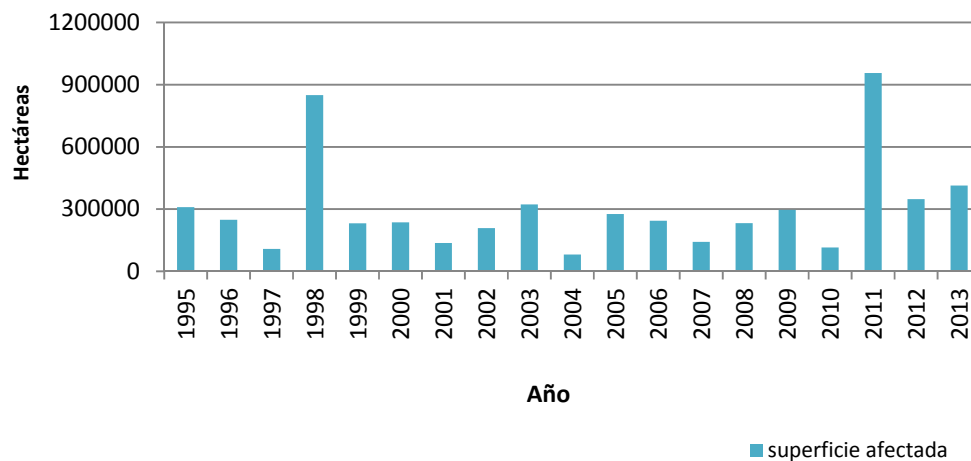
razones, entre las que se encuentran la acumulación de combustible orgánico seco en los bosques y selvas; sin embargo, destaca que la principal causa se refiere a la acción humana representando más del 90% de los incendios, debido a las prácticas tradicionales de uso inadecuado del fuego para la agricultura y quemas intencionales por diversas razones en zonas forestales.

Con base en los informes históricos de incendios forestales de la CONAFOR (2013a), se identificó a nivel nacional que los años que presentaron mayor número de incendios forestales fueron 1998, 2011 y 2013, seguidos por los años 2008, 2005, 2009 y 1996 que presentaron cifras por arriba de los 9,000 incendios (9735, 9709, 9569 y 9256 eventos, correspondientemente). Sin embargo, la tendencia de incendios no se observa a la alza. En la figura 2 se puede observar éste comportamiento, el número de eventos no se incrementa, pero tampoco cede. Después del año 1998, el promedio nacional de incendios forestales hasta el año 2013 fue de 8522, superando el promedio de 8000 sucesos que la CONAFOR (2013) establece.

En lo que respecta a la superficie siniestrada a nivel nacional (Figura 3), los años que presentaron mayor número de incendios forestales, no necesariamente son los años que presentan mayor superficie siniestrada (1998-849,632 ha; 2011-956,405 ha; 2013-414,215 ha; 2008-231,645 ha; 2005-276,089 ha; 2009-296,344 ha y 1996-248,765 ha). Las cifras para estos años oscilaron entre 956,405 y 231,645 ha afectadas, lo cual habla de diferentes climas y condiciones atmosféricas, de distintos tipos de vegetación, así como de diferentes características fisiográficas en el país, y seguramente de diferentes tipos de incendios forestales.



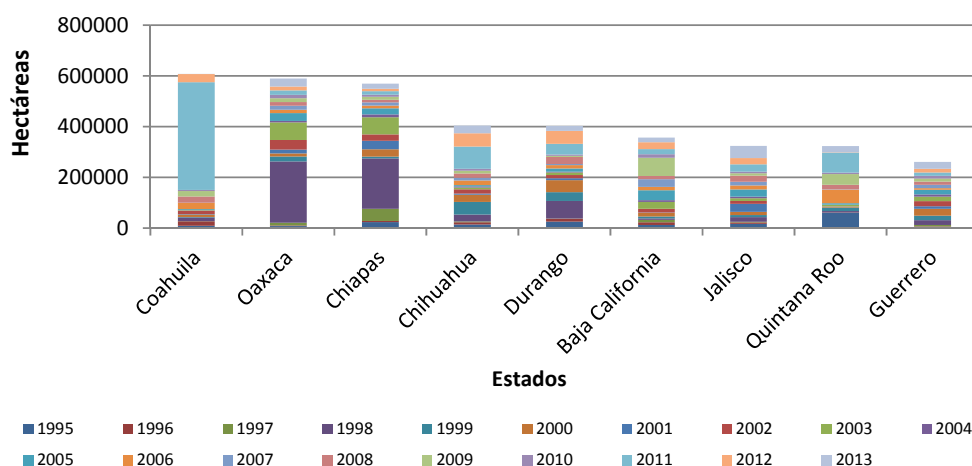
**Figura 2. Total de incendios forestales en México, periodo 1995-2013.** Fuente: elaborado con base en datos obtenidos de los informes históricos de incendios forestales de la Comisión Nacional Forestal, 2014.



**Figura 3. Total de superficie siniestrada en México por incendios forestales, periodo 1995-2013.** Fuente: elaborado con base en datos obtenidos de los informes históricos de incendios forestales de la Comisión Nacional Forestal, 2014.

Asimismo, se identificaron a los estados más afectados durante el periodo 1995-2013. Los estados que mostraron constante superficie siniestrada  $\leq 10,000$  ha fueron Oaxaca, Baja California, Chiapas, Jalisco, Coahuila, Chihuahua, Guerrero, Durango y Quintana Roo. De los dieciséis años analizados, Oaxaca estuvo presente en once años, Baja California y Chiapas en diez, Jalisco en nueve, Coahuila y Chihuahua en ocho, Guerrero y Durango en siete, y finalmente Quintana Roo en cinco años (Figura 4).

Las cifras máximas de superficie afectada (Figura 4) se identificaron en dos años. Primero en el año 2011 con 424,540.73 ha en el estado de Coahuila, y en el año 1998 con 241,650.00 ha en el estado de Oaxaca.



**Figura 4. Estados con mayor superficie siniestrada ( $\leq 10,000$  ha) por incendios forestales, periodo 1995-2013.** Fuente: elaborado con base en datos obtenidos de los informes históricos de incendios forestales de la Comisión Nacional Forestal, 2014.

Sobre las consideraciones anteriores, resulta oportuno destacar que el año 1998 fue año El Niño (1997-1998) y el incremento de incendios forestales puede explicarse por este fenómeno. Sin embargo, el año 2011 no presentó la misma condición. En este año, de acuerdo con la NOAA (2014), se hizo presente un evento La Niña, cuyo periodo comprendió del mes de septiembre de 2011 a febrero de 2012, lo cual nos remite a que los factores involucrados fueron de otra índole y no necesariamente climática, debido a que éste fenómeno no propicia las condiciones para el desarrollo de un fuego forestal.

### Los impactos de El Niño en San Luis Potosí, México.

#### 3.1. Años El Niño: 2003, 2004, 2005, 2006, 2007, 2009 y 2010.

La National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA, 2014) reportó los años 2003, 2004, 2005, 2006, 2007, 2009 y 2010 como años El Niño y a 2007, 2008, 2010, 2011 y 2012 como años La Niña.

De acuerdo con la agencia científica NOAA (2014), el periodo para El Niño 2003, compendió de mayo de 2002 a marzo de 2003. Para este evento de El Niño, el Desinventar (2014) tiene registrados para el año 2002, 71 reportes de sequía y para el año 2003, 33. En el primer año los estados afectados fueron Tamaulipas, Coahuila, Sinaloa, Hidalgo, Baja California Sur, Chihuahua, Durango, Nuevo León, Zacatecas, Michoacán, Oaxaca, Nayarit, Sonora, Puebla, Campeche y Baja California, de los cuales Sonora y Puebla reportan el mayor número de municipios afectados: 16 y 10.

Para el segundo año, entre los afectados estuvieron Querétaro, Tabasco, Veracruz, Hidalgo, Chihuahua, Sonora y Sinaloa. Siendo Veracruz el estado que reportó mayor número de municipios afectados: 182; seguido por Sinaloa, que reportó a 17 de los 18 municipios del estado como zona de desastres por la sequía.

Las observaciones de causa que reportaron los diarios fueron 2, la eminente falta de lluvia y la presencia de temperaturas altas. Cabe mencionar que, para el año 2002, los diarios asociaron el fenómeno de sequía con el de El Niño.

Ante este escenario, el FAPRACC (2014) sólo emitió beneficios durante el año 2003 para 5 estados de 23 afectados. Los primeros estados beneficiados correspondieron a aquéllos afectados por la sequía en el año 2002: Puebla,

México y Guerrero; así como para dos estados siniestrados en 2003: Michoacán y nuevamente Puebla.

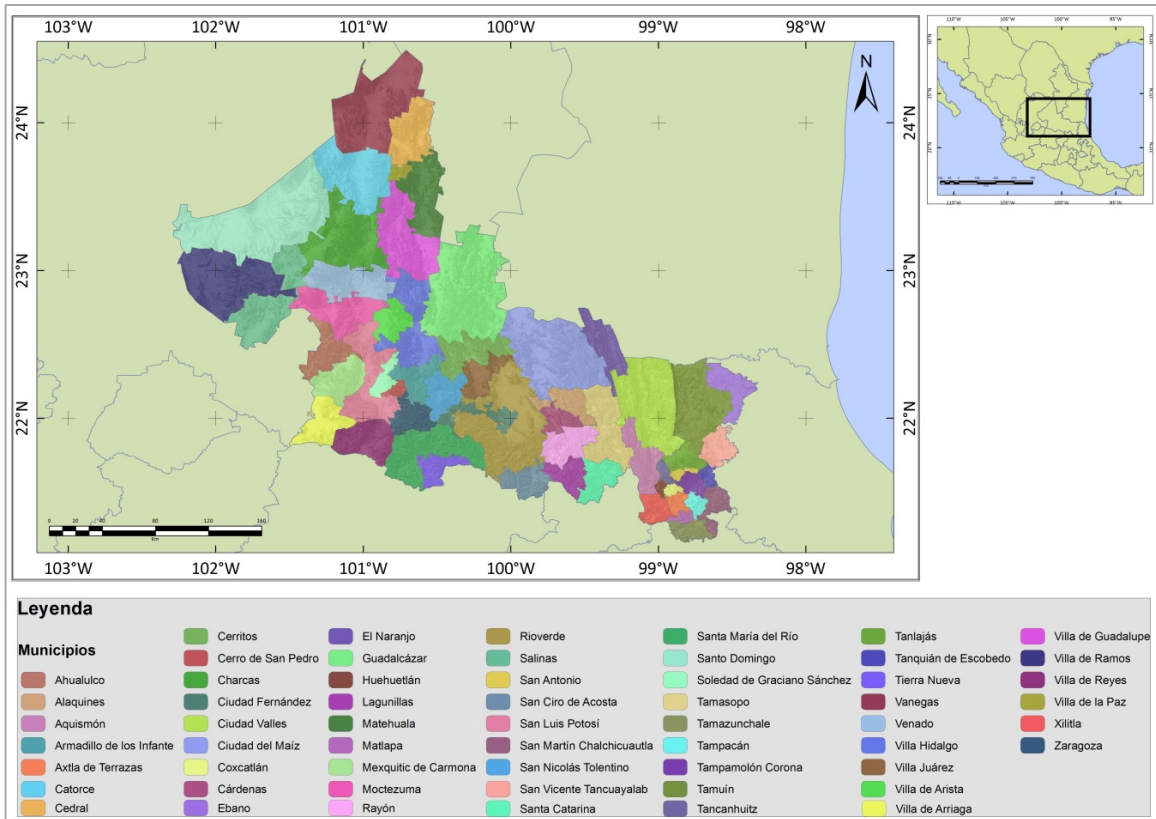
Además, existen otros informes para estados impactados por la sequía de este periodo, pero estos padrones de apoyo fueron aceptados y emitidos en el año 2004; entre estos estados se encontró a Chihuahua, Oaxaca y Puebla.

Así, en el año 2002 se presentaron sucesos de sequía, la cual se explica por la fuerte presencia de El Niño, caso contrario del año 2003. No obstante, no existen registros asociados a la sequía para ninguno de los dos años.

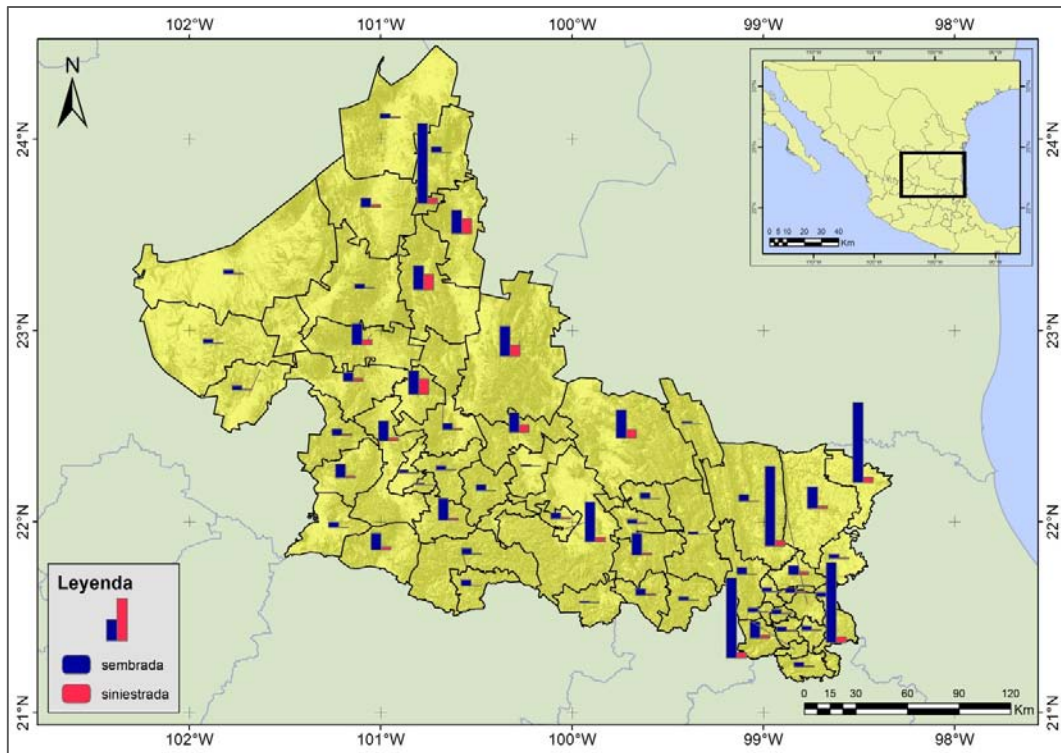
Durante el año 2003, San Luis Potosí tuvo una producción anual de 438,304 ha cosechadas de un total de 507,566 ha sembradas, de las cuales 69,262 ha fueron siniestradas en 38 de los 58 municipios que conforman al estado (Figura 5 y 6). Entre los cultivos afectados se observó al frijol, maíz grano, chile verde, jitomate, brócoli, calabacita, cebolla, chile seco, col, coliflor, lechuga, pepino, garbanzo forrajero y elote. El jitomate sembrado en el municipio de Ciudad del Maíz fue el cultivo más afectado, la mitad de la superficie sembrada fue siniestrada, 35 ha de 70 ha.

Es importante mencionar que en el presente trabajo, el análisis de los municipios del estado de San Luis Potosí corresponde a aquéllos que en una investigación antecedente mostraron mayor número de incendios forestales, con el fin de identificar o descartar una relación entre este evento y el fenómeno de sequía.

La figura 6 muestra el comportamiento de la superficie sembrada respecto de la superficie siniestrada para el año 2003. Como se puede observar, no existe una correlación entre los municipios mayormente siniestrados por incendios forestales (Ciudad Valles, El Naranjo, Tamasopo, Rioverde, Ciudad del Maíz y Mexquitic de Carmona) y los municipios con mayor superficie sembrada (Ébano, Salinas, Villa de Arriaga y Villa de Ramos) y mucho menos con los municipios con mayor superficie siniestrada durante este año (Matehuala, Guadalcázar y Villa de Zaragoza).



**Figura 5. Mapa de los municipios del estado de San Luis Potosí, México.** Fuente: elaborado con base en información de la CONABIO, 2014.



**Figura 6. Relación entre superficie sembrada y siniestrada en San Luis Potosí, México durante el año 2003.** Fuente: elaborado con base en datos obtenidos del Anuario Estadístico de la producción agrícola de México del SIAP, 2014.

El evento de El Niño 2004-2005 comprendió de julio del 2004 a enero de 2005. La NOAA (2014) tiene registrado para este suceso valores que oscilaban entre 0.5 a 0.8 del Índice Oceánico de El Niño (ONI, por sus siglas en inglés). Estos valores comparados con los anteriores son más débiles y se considera un episodio menos cálido, pues los primeros oscilaban entre 0.5 y 1.3.

La revisión hemerográfica del Desinventar (2014) para estos años presentó un total de 97 noticias de sequía; 21 para el año 2004 y 76 para el 2005. En el año 2004, las primeras noticias acerca de este fenómeno están registradas desde el 5 de Junio de 2004 en el estado de Sinaloa, entidad que se encuentra entre los estados más afectados por el fenómeno de sequía (11 municipios afectados), al igual que Michoacán que reportó 15 municipios afectados.

Las últimas noticias acerca de la sequía de este año datan del 04 y el 23 de noviembre de 2004 en 8 localidades del estado de Sonora y en Calakmul, Campeche, respectivamente.



Para el año 2005 entre los estados más afectados destacaron Guerrero y Tamaulipas, el primer estado reportó todo su territorio afectado y Tamaulipas sólo gran parte de su territorio (aunque el diario no especificó el nombre y número de municipios siniestrados). Otros estados afectados fueron Hidalgo, que reportó 25 municipios afectados, Chihuahua con 23, Campeche con 12, y Veracruz, Tabasco y Sonora con 11, así como, Michoacán con 3 y Guanajuato con 2. El estado de Tabasco reportó las primeras noticias del 9 de marzo hasta el 3 de abril de este año, mientras que Michoacán y Guanajuato figuraron en los últimos informes del 24 y 27 de noviembre y no se especificaron los municipios afectados.

Con base en el Desinventar (2014), se identificaron las observaciones de causa de la sequía en este periodo. En el año 2004, nuevamente las causas se enfocaron en el déficit de la precipitación y en un aumento de la temperatura; sin embargo, para 2005 los diarios asociaron estas variables con una ola de calor en 13 estados de la República Mexicana: Chiapas, Yucatán, Estado de México, Aguascalientes, Querétaro, Guanajuato, Tabasco, Hidalgo, Campeche, Tamaulipas, Guerrero, Veracruz y Chihuahua, coincidiendo estos últimos estados (siete) con los más afectados por la sequía de este año.

Frente a esta situación, el FAPRACC (2014), sólo apoyó por el fenómeno de sequía a tres estados en el año 2004: Quintana Roo, Oaxaca y Chiapas, de los cuales existe el documento del “Padrón de Beneficiarios del FAPRACC”. Y en 2005 por el mismo fenómeno benefició a 10 estados: Michoacán, Puebla, Tlaxcala, Nayarit, Chihuahua, Veracruz, México, Oaxaca, Hidalgo y Tabasco. Varios de estos estados corresponden con aquéllos afectados por la ola de calor. Sin embargo, cabe mencionar que el estatus de algunos informes emitidos durante el año 2004 y hasta el año 2011 se reportan como “Padrón preliminar de beneficios del FAPRACC”, y no existe un documento en la página electrónica que avale que los agricultores fueron beneficiados efectivamente.

De la misma manera que durante El Niño 2002-2003, en este evento, el apoyo para los estados afectados llegó varios meses después, de acuerdo con La evaluación externa del PACC, 2010; el tiempo promedio desde la corroboración de la ocurrencia de la contingencia climatológica por parte de CONAGUA hasta la

entrega de apoyos a los productores es o debería de ser de 95 días, tal cual lo marca las Reglas de Operación del PACC.

Bajo esta consideración, cinco estados siniestrados durante 2004 recibieron apoyo en el año 2005: Oaxaca, Chiapas, Campeche, Michoacán y Guerrero; con la observación de que los informes cuentan con el estatus “Padrón preliminar de beneficios del FAPRACC”. Igualmente, los beneficios para ocho estados perturbados por el fenómeno de sequía (San Luis Potosí, Jalisco, Puebla, Oaxaca, Michoacán, Chihuahua, Zacatecas y Nayarit) en 2005 llegaron hasta el año 2006.

En este episodio de El Niño, San Luis Potosí a pesar de no figurar en la base hemerográfica del Desinventar del año 2005, si fue declarado con emergencia climatológica y recibió apoyo por parte del FAPRACC. Con base en el Padrón Preliminar de Beneficiarios del FAPRACC, 2006 (Folio 278 y 294), la fecha de ocurrencia de la sequía en el estado está registrada en los meses de mayo, junio, agosto, octubre y diciembre del año 2005, y los municipios afectados fueron Ahualulco, Cedral, Cerritos, Charcas, Ciudad del Maíz, Matehuala, San Nicolás Tolentino, Tierra Nueva, Vanegas, Villa de Hidalgo, Lagunillas, Soledad de Graciano Sánchez y Cerro San Pedro, en tanto que los cultivos perjudicados corresponden al maíz y al frijol.

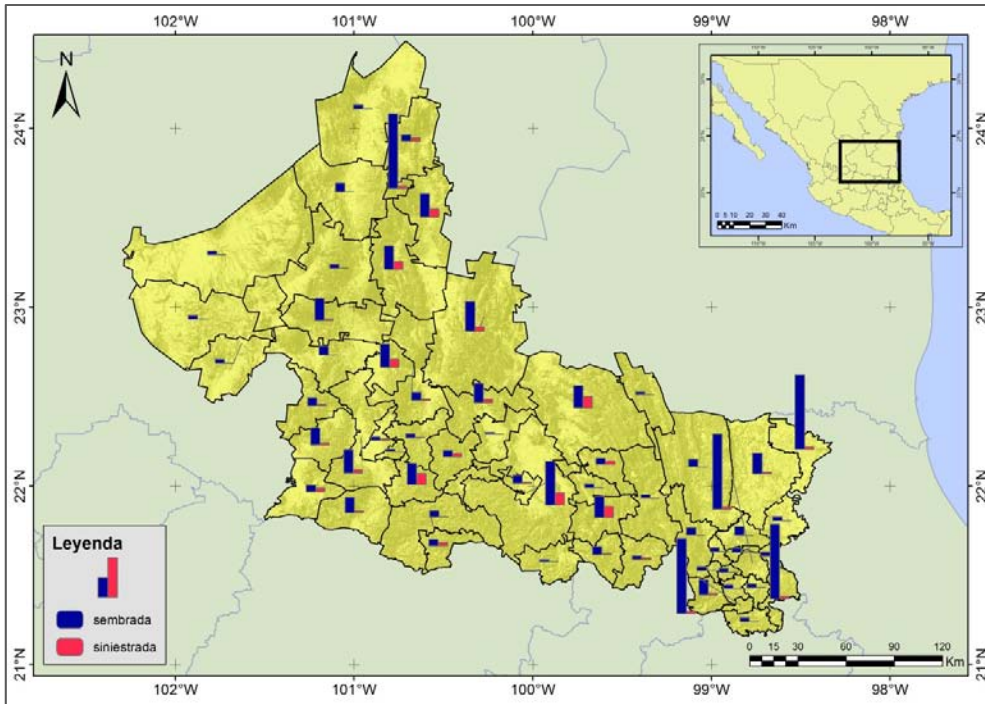
En lo que respecta al análisis de las bases de datos del SIAP (2014), para este periodo la superficie sembrada fue de 1,017,141 ha, de las cuales 848,872 ha fueron cosechadas y sólo 168,269 ha se reportaron como siniestradas. Al igual que en el año 2003, la superficie siniestrada no muestra un gran peso desde el punto de vista cuantitativo. Durante este ciclo, entre los municipios más afectados que corresponden a los mayormente siniestrados por incendios forestales están Ciudad del Maíz, Mexquitic de Carmona, Rioverde, San Luis Potosí, Santa María del Río y Soledad de Graciano Sánchez. Asimismo, entre los cultivos afectados para el año 2004 se encontró a la acelga, el ajo, el apio, la avena forrajera, el betabel, el brócoli, la calabacita, la cebada forrajera, la cebolla, el chícharo, el chile verde, el cilantro, la col, la coliflor, el ejote, la espinaca, las flores, el frijol, el garbanzo forrajero, el jitomate, la lechuga, el maíz grano, la manzanilla, la mejorana, el pepino, el perejil, el rábano, el sorgo forrajero, el sorgo grano, el

tomate verde, el tomillo, la zanahoria y para el año 2005 el maíz grano, avena forrajera, cebada forrajera, frijol, garbanzo forrajero y la lenteja. De los cultivos siniestrados en estos años, el chícharo, cilantro, coliflor, betabel, cebolla, avena forrajera, maíz grano, cebada forrajera, garbanzo forrajero, lenteja y frijol perdieron una superficie igual o mayor a la mitad del total de superficie sembrada.

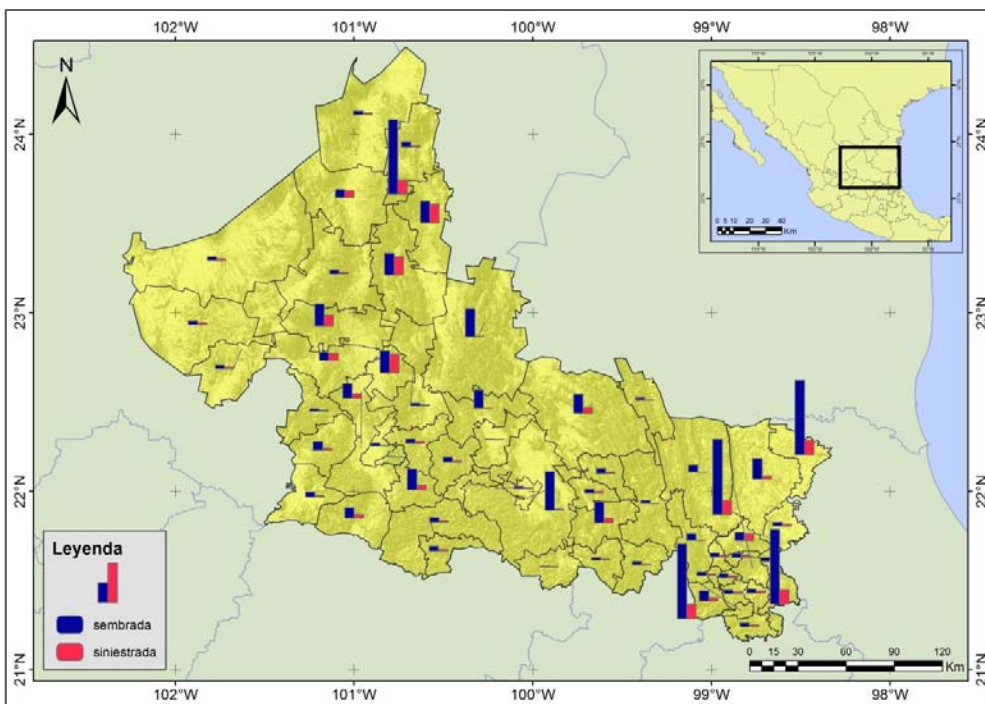
Así, los cultivos que fueron más afectados se ubican en cuatro municipios del estado, nuevamente Ciudad del Maíz, y se adhirieron Mexquitic de Carmona, Rioverde y San Luis Potosí.

De esta manera, en este periodo la superficie sembrada del 2004 respecto de la del 2005 coincide (Figuras 7 y 8), y los municipios que mayor superficie sembrada tuvieron en ambos años fueron Ébano, Salinas Hidalgo, Santo Domingo, Villa de Arriaga y Villa de Ramos.

En cuanto a la superficie siniestrada, encontramos un comportamiento totalmente diferente, durante 2005 la superficie siniestrada se incrementó y rebasó la media del 2004, hasta el punto en que la superficie siniestrada corresponde con la superficie sembrada en municipios como El Cedral, Matehuala, Vanegas y Villa de Arriaga (Figura 8). Sin embargo, el aumento de la temperatura por El Niño se registró hasta enero del 2005, lo que significa que el efecto de la sequía se extendió más allá del primer trimestre del año.



**Figuras 7. Relación entre superficie sembrada y siniestrada en el estado de San Luis Potosí, México durante el año 2004.** Fuente: elaborado con base en datos obtenidos del Anuario Estadístico de la producción agrícola de México del SIAP, 2014.



**Figuras 8. Relación entre superficie sembrada y siniestrada en el estado de San Luis Potosí, México durante el año 2005.** Fuente: elaborado con base en datos obtenidos del Anuario Estadístico de la producción agrícola de México del SIAP, 2014.

El evento de El Niño 2006-2007 tiene registrado en las bases de datos de la NOAA su inicio a finales del tercer trimestre (septiembre) de 2006 y su conclusión en el primer trimestre (enero) de 2007. El umbral de temperatura en el cual osciló éste evento estuvo entre 0.5 y 1.18°C del Índice Oceánico de El Niño (ONI).

Las noticias sobre sequías durante este periodo con base en el Desinventar (2014) se presentan desde el 14 de marzo del año 2006 hasta el primero de noviembre de 2007. Durante el año 2006 los estados afectados fueron Durango, Querétaro, Sinaloa, Tamaulipas, Chihuahua, Zacatecas, Aguascalientes, Sonora, Guanajuato y el Distrito Federal, y para el año 2007 sólo dos entidades figuraron en las noticias nacionales por la sequía: Veracruz y Oaxaca. Algunas de estas entidades como Zacatecas, Durango y Chihuahua coinciden en que se trató de la peor sequía de los últimos 50 años y en el caso del estado de Durango, las noticias reportaban conflictos sociales como la disputa del agua que además estaba contaminada con orina de los animales (La Jornada, 2007. En Desinventar, 2014).

Otros efectos de la sequía fueron los numerosos casos de personas deshidratadas y los daños a la agricultura y ganadería. En cuanto a las observaciones de causa reportadas por los diarios, éstas radicaban en la falta y retraso de las lluvias, y a una sequía atípica para la temporada como lo describió el diario La Jornada (Desinventar, 2014).

En el caso de Oaxaca y el Distrito Federal, los efectos de la sequía no se deben en sí a la falta de precipitación, pues con base en los reportes del Desinventar (2014) se pudieron identificar dos causas fundamentales, la pésima administración del recurso agua asociada a una fuerte presión social sobre el mismo.

Bajo este contexto, el FAPRACC (2014) sólo tuvo emitidos apoyos por sequía para Michoacán, Querétaro Chiapas, Oaxaca, Campeche, Guerrero, Chiapas, Tabasco y Puebla, estado que desde el año 2003 ha sido severamente afectado por la sequía.

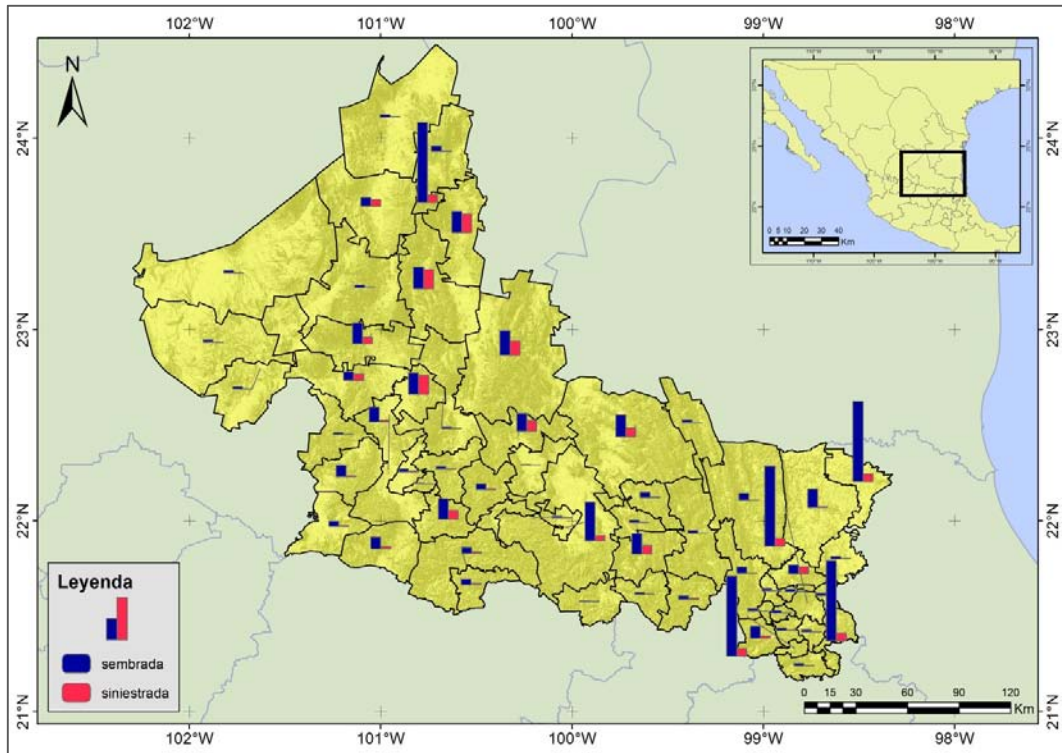
Nuevamente el estado de San Luis Potosí no figura entre los estados más afectados por el fenómeno de sequía y tampoco como estado captador de apoyos

por parte del FAPRACC. No obstante, la información analizada del SIAP (2014) para este evento de El Niño muestra que diversos cultivos fueron siniestrados en el estado. Durante el año 2006 el total de hectáreas siniestradas correspondió a 205,891 ha siniestradas de 999,074 ha sembradas y para el año 2007, 105,955 ha siniestradas de 522,860 ha sembradas. Como en los eventos anteriores, también se identificaron a los municipios (Figuras 9 y 10) y cultivos siniestrados. De los municipios con mayor número de incendios forestales durante este evento estuvieron Ciudad del Maíz, Ciudad Valles, El Naranjo, Mexquitic de Carmona, Rioverde, San Luis Potosí, Santa María del Río, Soledad de Graciano Sánchez y Tamasopo.

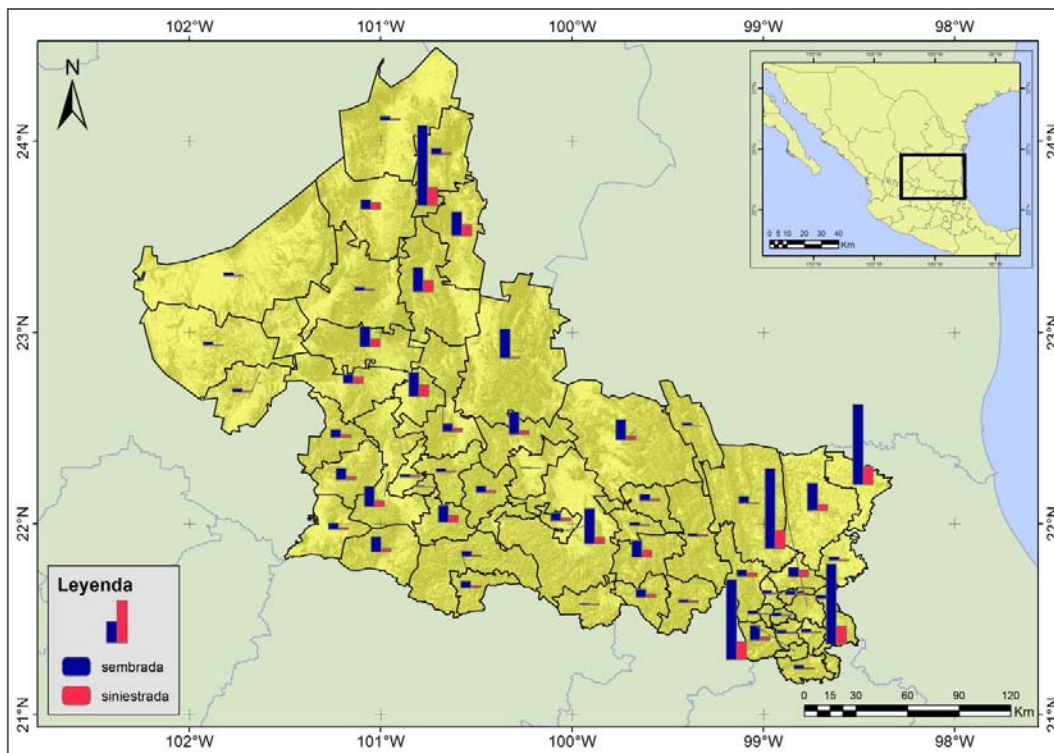
Entre los cultivos afectados en 2006 se encontraron al apio, avena y cebada forrajera, chile verde, frijol, garbanzo forrajero, maíz grano, jitomate, brócoli, calabacita, chile seco, cilantro, col, coliflor, ejote, flores, lechuga, pepino y zanahoria. Estos mismos cultivos más siete más, el betabel, cacahuate, calabaza, cebolla, Jícama, sorgo forrajero y el tomate verde presentaron afectaciones en el año 2007. Del total de estos cultivos, sólo seis tuvieron afectaciones considerables durante estos años. En 2006 sólo la cebada forrajera en el municipio de Ciudad del Maíz tuvo una pérdida del 100%, pues sus 16 ha sembradas se reportaron como siniestradas. En 2007, el chile verde serrano también en el municipio de Ciudad del Maíz, presentó la totalidad de su superficie sembrada, siniestrada (3 ha). Los otros cultivos que sufrieron las mismas pérdidas fueron la jícama (1.50 ha), el pepino (3 ha) y el frijol (30 ha) en Rioverde; por último, el sorgo forrajero en el municipio de Soledad de Graciano Sánchez perdió la totalidad de sus 113.50 ha sembradas.

Los municipios que tuvieron una mayor superficie sembrada fueron Ébano, Salinas Hidalgo, Santo Domingo, Villa de Arriaga y Villa de Ramos como ha pasado desde el año 2003. Entre los municipios siniestrados sobresalieron en este periodo Matehuala, San Ciró de Acosta, Catorce, Cedral, Guadalcázar, Cerritos y por último, el municipio de Charcas. En porcentaje la superficie siniestrada de los municipios correspondió a 88.2, 82.6, 78.7, 61.9, 58.4, 58.3 y 50.4, respectivamente (Figura 9).

Al igual que las figuras anteriores, la figuras 9 y 10 muestran un comportamiento constante en cuanto a la superficie siniestrada, pues no muestra un incremento o algún comportamiento extremo.



**Figura 9. Relación entre superficie sembrada y siniestrada en el estado de San Luis Potosí, México durante el año 2006.** Fuente: elaborado con base en datos obtenidos del Anuario Estadístico de la producción agrícola de México del SIAP, 2014.



**Figura 10. Relación entre superficie sembrada y siniestrada en el estado de San Luis Potosí, México durante el año 2007.** Fuente: elaborado con base en datos obtenidos del Anuario Estadístico de la producción agrícola de México del SIAP, 2014.

El último periodo de El Niño que se tiene registrado hasta el día de hoy comprendió de julio del año 2009 hasta abril del 2010. Este evento ha sido el más cálido de la última década, oscilando entre 0.5 y 1.78°C del índice ONI (NOAA, 2014).

Para estos años el Desinventar (2014) tiene registro de 287 fichas por sequías. Por un lado, el año 2009 presentó el mayor número de noticias de todos los años analizados para la presente investigación (2003 a 2010, años con episodios El Niño), pues contó con 212. Entre los estados afectados por sequía se identificaron para este año a veinte, entre ellos se encuentra Michoacán, Veracruz, Campeche, Tabasco, Yucatán, Hidalgo, Tamaulipas, Guanajuato, Colima, El Distrito Federal, Durango, Puebla, Aguascalientes, Nuevo León, Querétaro, Zacatecas, Tlaxcala, Jalisco, Estado de México y Morelos.

Así mismo, se identificaron las observaciones de causa las cuales giraron en torno de la falta de precipitación y al aumento de la temperatura,



principalmente. Algunas de las afectaciones consecuencia de estas condiciones fueron la escasez de agua y, por tanto, la baja productividad del sector agropecuario, aunque en algunos estados si se presentó la mortandad del ganado y la pérdida de diversos cultivos. Entre los cultivos primordialmente afectados se observó al maíz, frijol, y arroz.

Por otro lado, el año 2010 sólo presentó 75 noticias por sequía, y entre las entidades afectadas estuvieron nuevamente Yucatán, Estado de México, Campeche, Hidalgo y zacatecas, y se sumó Quintana Roo. Entre las observaciones de causa se reportaron las mismas que en 2009: Falta de lluvia y altas temperaturas, sin embargo en este año se incorporó la presencia de los frentes fríos en estados como Yucatán, Quintana Roo y Campeche.

A pesar de haber sido en total 21 entidades afectadas, el PACC (2014) sólo presentó en el “Padrón preliminar de beneficiarios 2009 y 2010” a nueve estados: Zacatecas, Michoacán, Querétaro, Guanajuato, San Luis Potosí, Puebla, Yucatán, Oaxaca y Nayarit. Bajo este análisis podemos observar que sólo cinco estados de la base de datos del Desinventar que reportaron sequías fueron apoyados por el PACC. Asimismo, también se pudo identificar que el estado de San Luis Potosí no figuraba entre las noticias del Desinventar pero sí en el “Padrón preliminar de beneficiarios del PACC (folio 300306)”, que de acuerdo con este documento, la sequía en la entidad ocurrió del primero al treinta y uno de julio del año 2009, y el municipio que recibió apoyo fue Guadalcázar por la afectación del cultivo de Maíz.

Por su parte, el SIAP (2014) sí reporta superficie siniestrada en estos años para San Luis Potosí. Los municipios que reportan superficie siniestrada pero bajo la consideración de contar con un número significativo de incendios forestales fueron: Ciudad del Maíz, Ciudad Valles, San Luis Potosí, Tamasopo, Mexquitic de Carmona, Rioverde, Santa María del Río y Soledad de Graciano Sánchez.

La superficie total sembrada en estos años fue de 1,065,388 ha, de las cuales 460,370 ha fueron siniestradas, aproximadamente el 43.21%, que en términos de productividad representan una gran pérdida con respecto de los otros años (Figuras 11 y 13).

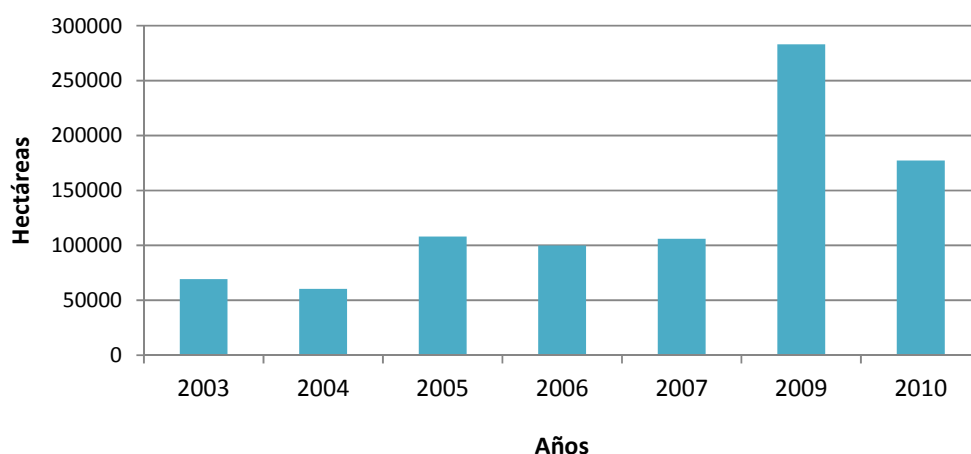
En la figuras 11 y 12 se puede observar que existió un comportamiento

extremo de la superficie siniestrada durante el año 2009, en términos generales se puede decir que la superficie siniestrada tuvo una dinámica análoga de la superficie sembrada, excepto de los municipios de Ébano, Tampamolón y Tamuín. Estos municipios mostraron bajas pérdidas respecto de su superficie sembrada: 65, 0 y 0 ha siniestradas, respectivamente.

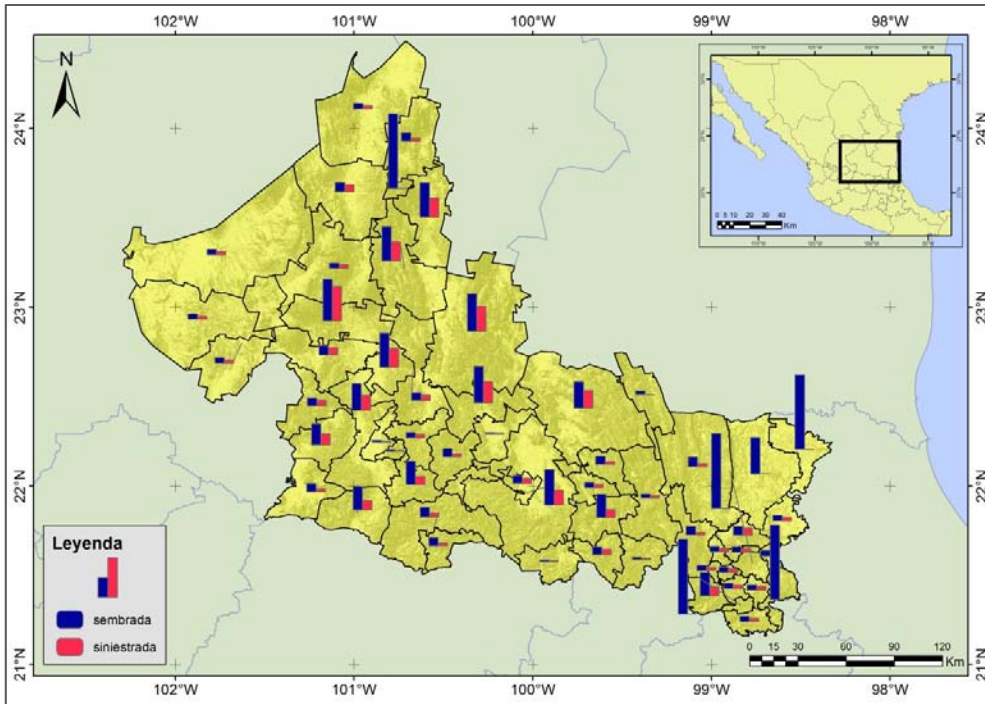
Este comportamiento pudiera explicarse debido a la fuerte presencia de El Niño durante este año y al umbral de temperatura en que estuvo fluctuando.

Con base en el SIAP (2014), también se identificaron los cultivos afectados durante estos años de los municipios que paralelamente han presentado incendios forestales, como en los años anteriores. Entre ellos se encontraron en el año 2009 a nueve cultivos: avena forrajera, calabaza, cebada, chile seco, chile verde, frijol, garbanzo forrajero, jitomate y maíz grano; y durante 2010 a 16 cultivos: avena forrajera, cacahuete, calabacita, cártamo, cebada forrajera, chile seco, chile verde, elote, frijol, garbanzo forrajero, jitomate, maíz forrajero, maíz grano, sandía, sorgo y tomate verde. Es decir, nueve cultivos más que en el año 2009.

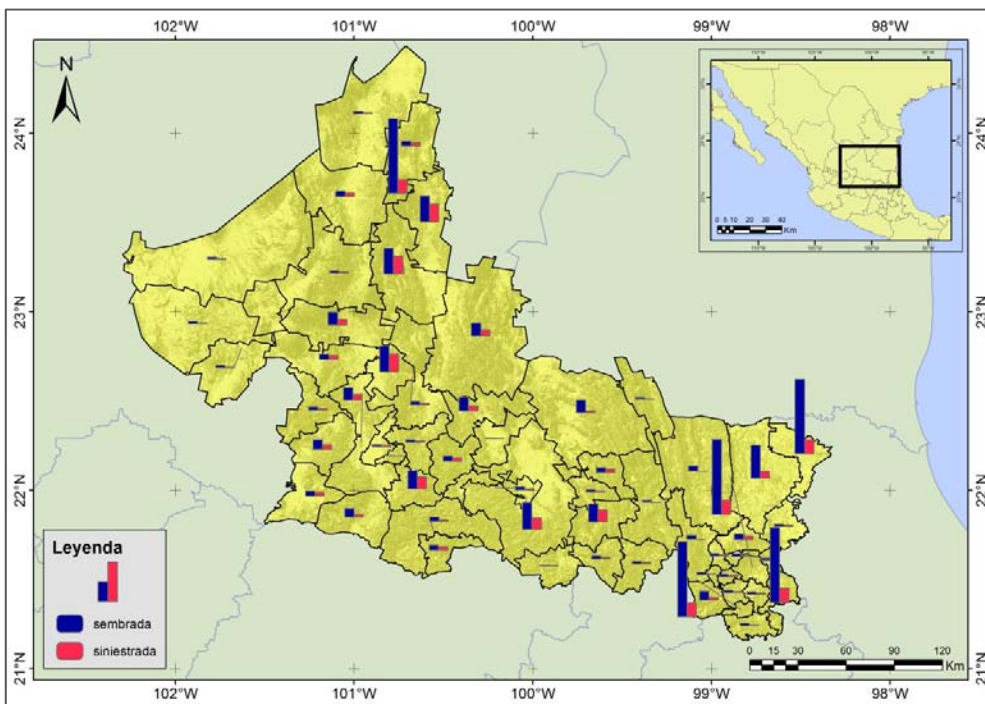
Las pérdidas al 100% se presentaron en el chile verde (15 ha-2009, 10 ha-2010), jitomate 20 ha, cebada 45 ha en 2009 y avena 1 ha, cártamo 40 ha, garbanzo forrajero 152 ha para el año 2010.



**Figura 11. Comportamiento de la superficie siniestrada en San Luis Potosí, México durante años El Niño.** Fuente: elaborado con base en datos obtenidos del Anuario Estadístico de la producción agrícola de México del SIAP, 2014.



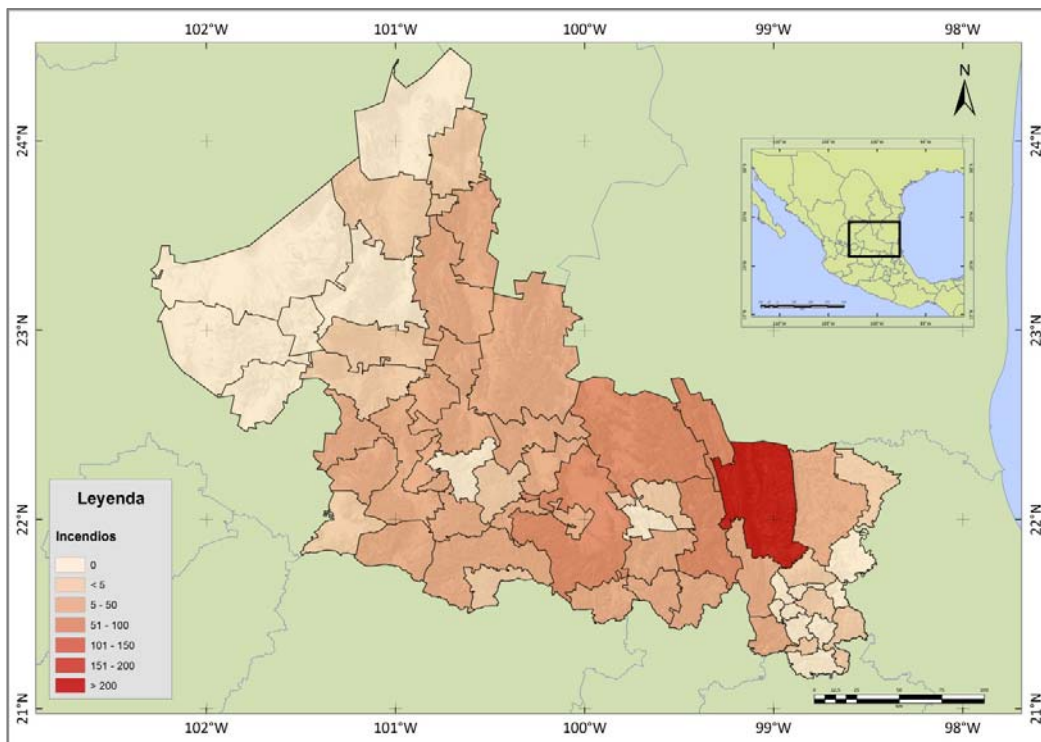
**Figura 12. Relación entre superficie sembrada y siniestrada en el estado de San Luis Potosí, México durante el año 2009.** Fuente: elaborado con base en datos obtenidos del Anuario Estadístico de la producción agrícola de México del SIAP, 2014.



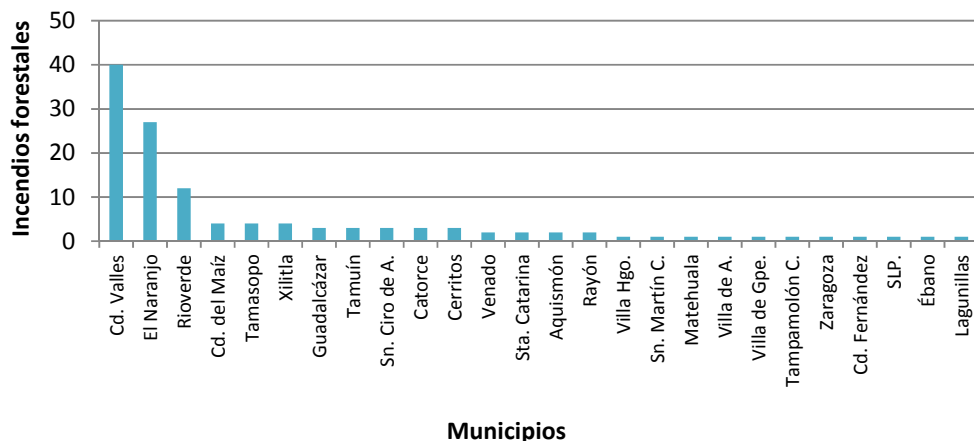
**Figura 13. Relación entre superficie sembrada y siniestrada en el estado de San Luis Potosí, México durante el año 2010.** Fuente: elaborado con base en datos obtenidos del Anuario Estadístico de la producción agrícola de México del SIAP, 2014.

### 3.2. Análisis de los incendios forestales en San Luis Potosí

Durante el periodo comprendido entre el año 2000 y 2009 se presentaron en el estado 778 incendios forestales que afectaron a 23,728.25 ha (Figura 14). Así en el año 2000, 26 de los 58 municipios de San Luis Potosí fueron afectados por incendios y Ciudad Valles, El Naranjo y Rioverde figuraron entre los municipios mayormente siniestrados. El primer municipio registró 40 incendios, el segundo 27 y el último 12. Los 23 municipios restantes reportaron entre uno y cuatro incendios forestales (Figura 15).



**Figura 14. Mapa de número de incendios total entre el año 2000 y 2009 para San Luis Potosí por municipio.** Fuente: elaborado con base en datos obtenidos de la Comisión Nacional Forestal, Gerencia Estatal, 2014.

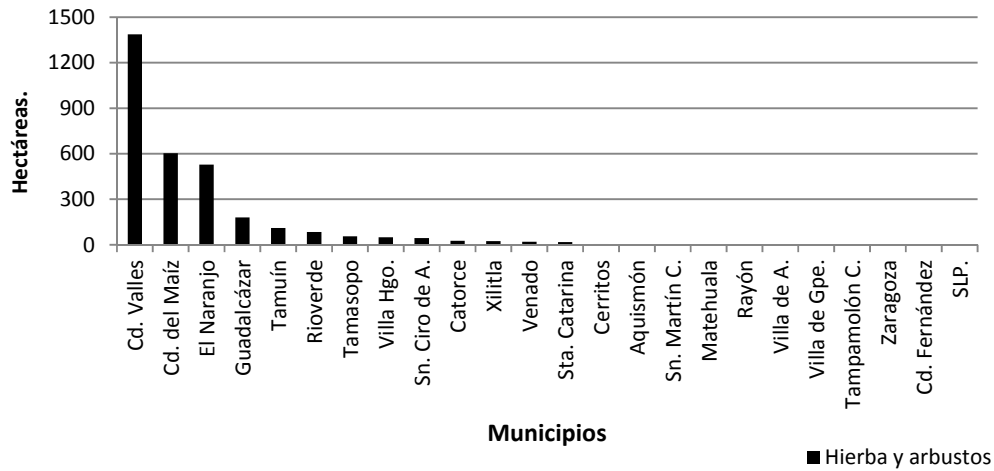


**Figura 15. Total de incendios forestales en el estado de San Luis Potosí, México durante el año 2000.** Fuente: elaborado con base en datos obtenidos de la Comisión Nacional Forestal, Gerencia Estatal, 2014.

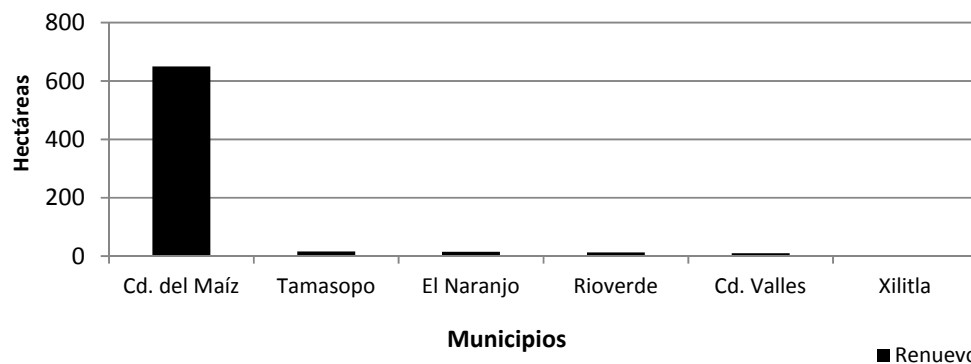
Entre la vegetación siniestrada, la hierba y arbustos fueron los más afectados en el estado. Los valores van desde 1,387.50 ha en el municipio de Ciudad Valles, hasta las 0.5 ha afectadas en municipios como Ciudad Fernández y San Luis Potosí.

La figura 16 muestra las afectaciones en diversos municipios del estado, manifestando una clara diferencia entre un municipio y otro. Si los daños en el municipio de Ciudad Valles representaran el 100%, municipios como Matehuala, Rayón y Villa de Arriaga representarían sólo el 0.2% de los daños y Ciudad Fernández y San Luis Potosí (los municipios menos afectados), apenas el 0.04%.

Análogamente, se observa con la vegetación de renuevo (Figura 17) que las cifras no corresponden con las de las hierbas y arbustos. Los municipios más afectados son otros; sin embargo, en todos los estratos vegetativos afectados están presentes los municipios de Ciudad Valles, El Naranjo, Ciudad del Maíz y Rioverde.



**Figura 16. Superficie total de hierba y arbustos siniestrados durante el año 2000 en el estado de San Luis Potosí, México.** Fuente: elaborado con base en datos obtenidos de la Comisión Nacional Forestal, Gerencia Estatal, 2014.

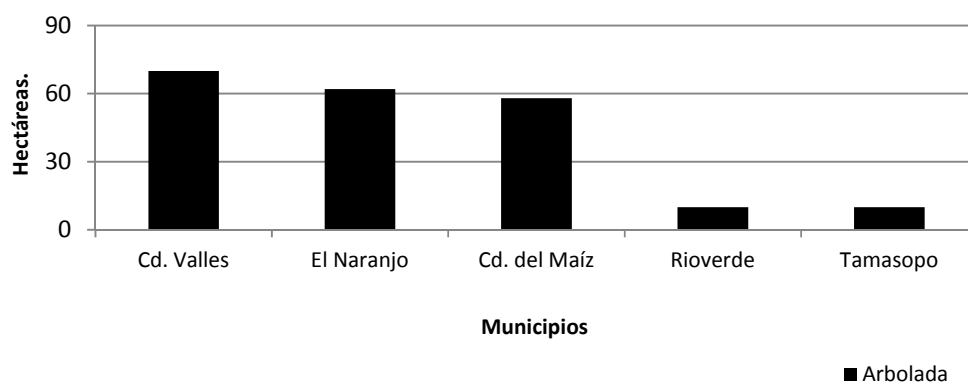


**Figura 17. Superficie total de renuevo siniestrado durante el año 2000 en el estado de San Luis Potosí, México.** Fuente: elaborado con base en datos obtenidos de la Comisión Nacional Forestal, Gerencia Estatal, 2014.

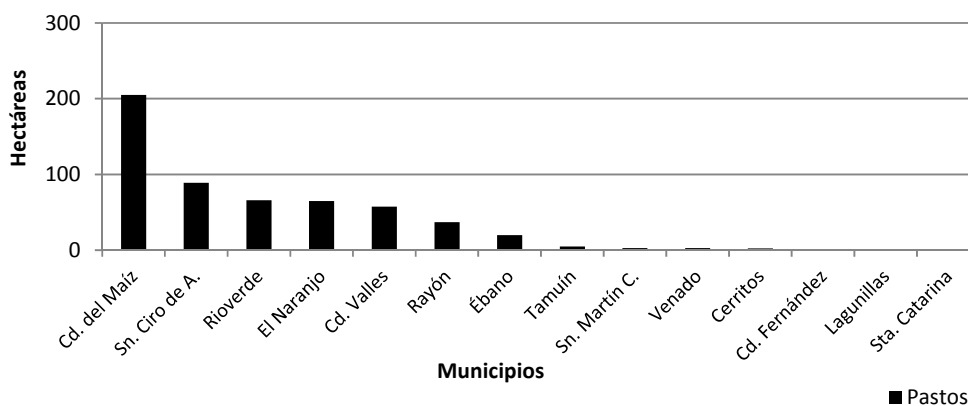
Por el contrario, los pastos y la superficie arbolada no presentaron gran afectación. Las cifras para los pastos oscilaron entre las 205 y un ha siniestradas, por su parte la superficie arbolada fue el tipo de vegetación que menor impacto tuvo. En este sustrato vegetativo sólo cinco municipios fueron afectados, en orden de magnitud se observa primero a Ciudad Valles (70 ha), seguido de El Naranjo (62 ha), Ciudad del Maíz (58 ha), Rioverde (10 ha) y Tamasopo (10 ha) (Figura 18).

Aunque los pastos aunque no mostraron mayores afectaciones, presentaron un número considerable de municipios afectados, 14 en total. Entre ellos destacan por su superficie siniestrada, Ciudad del Maíz, San Ciro de Acosta,

Rioverde, El Naranjo, Ciudad Valles, Rayón y Ébano (Figura 19).

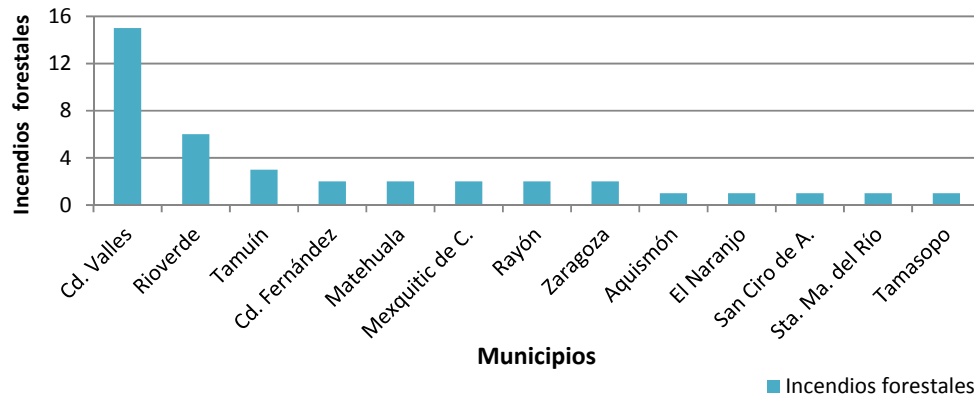


**Figura 18. Superficie total de arbolada siniestrada durante el año 2000 en el estado de San Luis Potosí, México.** Fuente: elaborado con base en datos obtenidos de la Comisión Nacional Forestal, Gerencia Estatal, 2014.



**Figura 19. Superficie total de pastos siniestrados durante el año 2000 en el estado de San Luis Potosí, México.** Fuente: elaborado con base en datos obtenidos de la Comisión Nacional Forestal, Gerencia Estatal, 2014.

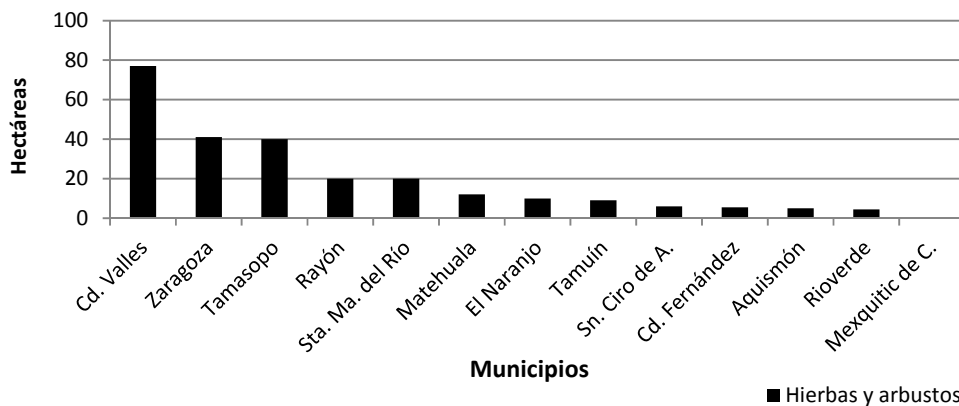
Para el siguiente año se observó un descenso considerable de fuego forestal. Sólo 13 municipios reportaron incendios forestales de superficie, el número de incendios oscilaron entre uno y 15 eventos, y entre los más afectados se situaron nuevamente Ciudad Valles y Rioverde con 15 y seis eventos, respectivamente (Figura 20). Durante este año cinco municipios tuvieron reporte por un incendio forestal. Un año antes la cifra era de 11 municipios afectados. Asimismo, destaca la condición del municipio de El Naranjo, en el año 2000 osciló entre los municipios más afectados del estado y para este año, el municipio sólo registró un evento forestal.



**Figura 20. Total de incendios forestales en el estado de San Luis Potosí, México durante el año 2001.** Fuente: elaborado con base en datos obtenidos de la Comisión Nacional Forestal, Gerencia Estatal, 2014.

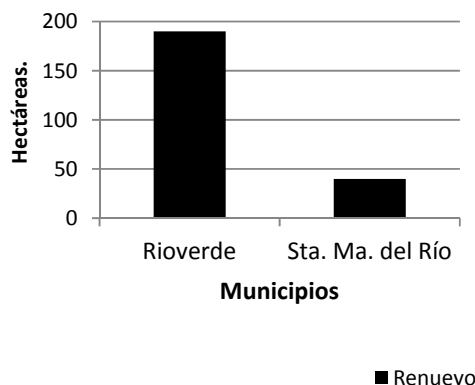
La vegetación más afectada fueron la hierba y arbustos. En total el estado presentó 250 ha siniestradas por fuego forestal. Los municipios dañados fueron trece, entre ellos está una vez más Ciudad Valles, seguido por Zaragoza, Tamasopo, Rayón, Santa María del Río, Matehuala, El Naranjo, Tamuín, San Ciro de Acosta, Ciudad Fernández, Aquismón, Rioverde y Mexquitic de Carmona (Figura 21).

El segundo estrato más afectado fue el renuevo, presentando 230 ha siniestradas. El número de municipios afectados fue menor, pues sólo dos municipios reportaron fuego forestal, el municipio de Rioverde con 190 ha y Santa María del Río con 40 ha dañadas (Figura 22).



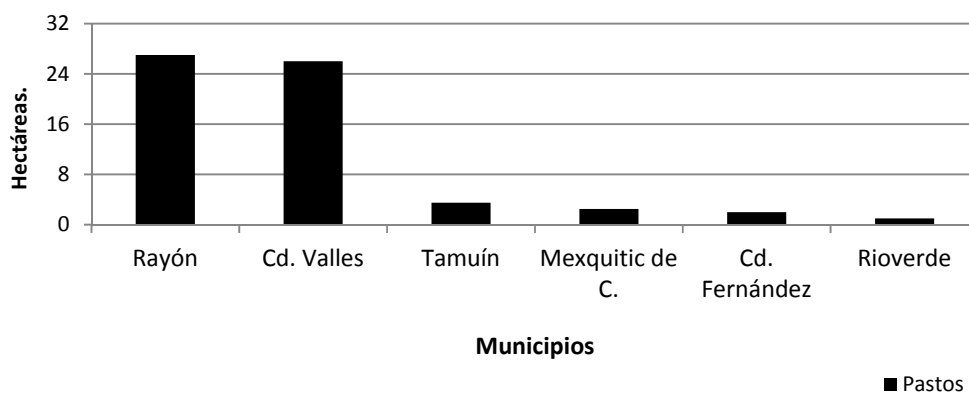
**Figura 21. Superficie total de hierbas y arbustos siniestrados durante el año 2001 en el estado de San Luis Potosí, México.** Fuente: elaborado con base en datos obtenidos de la Comisión Nacional Forestal, Gerencia Estatal, 2014.





**Figura 22. Superficie total de renovación siniestrado durante el año 2001 en el estado de San Luis Potosí, México.** Fuente: elaborado con base en datos obtenidos de la Comisión Nacional Forestal, Gerencia Estatal, 2014.

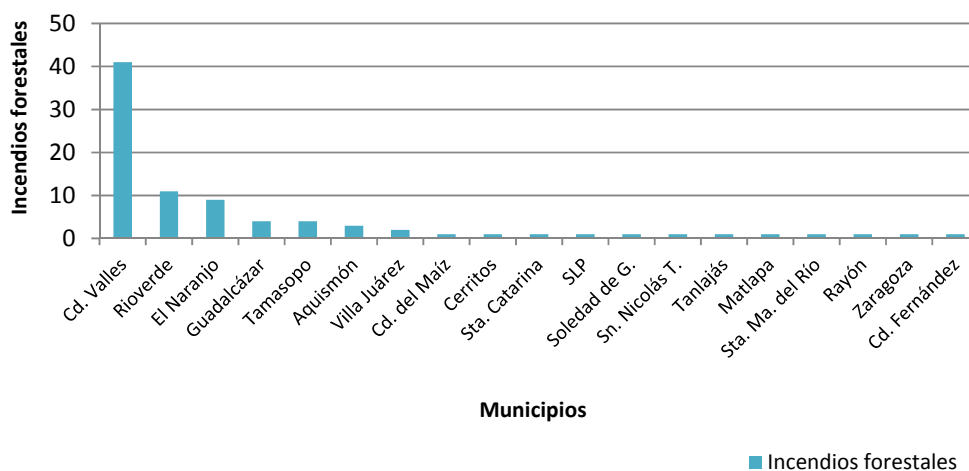
En este mismo orden de ideas, el estado sólo reportó 97 ha siniestradas de arbolada en el municipio de Rioverde. Los doce municipios restantes no informaron sobre daños en este estrato vegetativo. Por último, el tipo de vegetación que menor impacto sufrió fueron los pastos, San Luis Potosí reportó en total 62 ha siniestradas y entre los municipios afectados estuvieron Rayón, Ciudad Valles (de nueva cuenta), Tamuín, Mexquitic de Carmona, Ciudad Fernández y Rioverde enlistados conforme el grado de magnitud reportada (Figura 23).



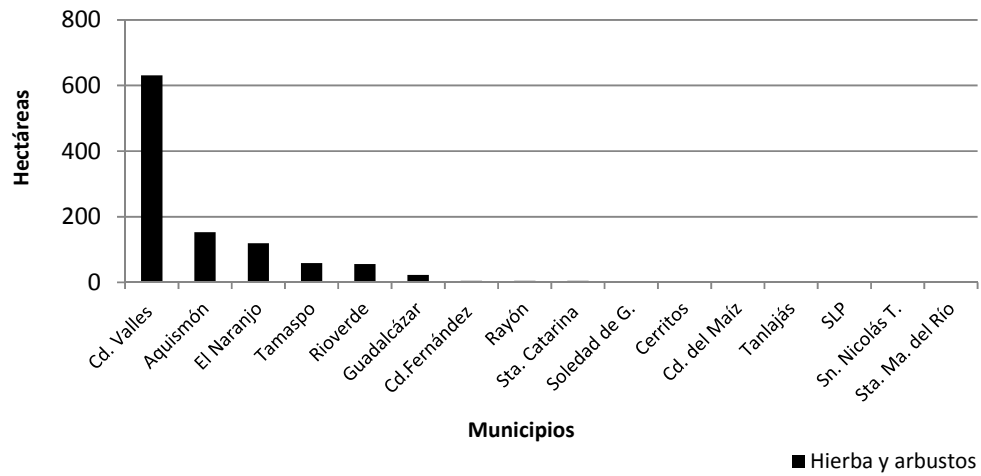
**Figura 23. Superficie total de pastos siniestrados durante el año 2001 en el estado de San Luis Potosí, México.** Fuente: elaborado con base en datos obtenidos de la Comisión Nacional Forestal, Gerencia Estatal, 2014.

Durante el año 2002 se registró un incremento del número de eventos en San Luis Potosí, de 39 incendios forestales registrados en el año 2001 se pasó a 86 episodios en este año. En total, 19 municipios fueron afectados; Ciudad Valles, Rioverde y El Naranjo presentaron las mayores afectaciones, sus cifras sumadas representan el 70.9% de los incendios forestales en el estado (Figura 24). Por otra parte, al igual que en el año anterior el estrato vegetativo más siniestrado fueron la hierba y arbustos con 1,070 ha dañadas. Los municipios que reportaron estos siniestros fueron Ciudad Valles, Aquismón, El Naranjo, Tamasopo, Rioverde, Guadalcázar, Ciudad Fernández, Rayón, Santa Catarina, Soledad de Graciano Sánchez, Cerritos, Ciudad del Maíz, Tanlajas, San Luis Potosí, San Nicolás Tolentino y Santa María del Río (Figura 25).

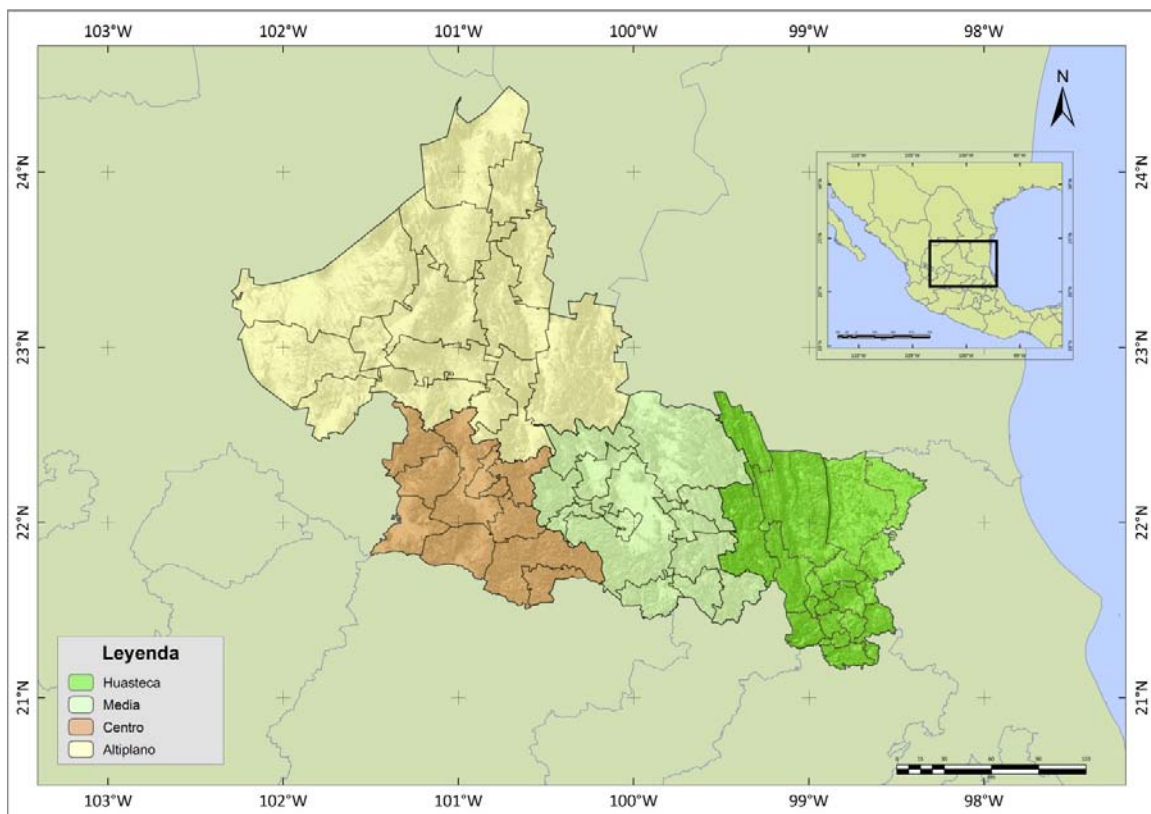
En este tipo de vegetación, las cifras reportadas van de las 275 ha siniestradas a un ha, es decir, no muestran un comportamiento constante, además es interesante observar que los primeros lugares los ocupan municipios localizados en la región Huasteca, seguidos por los municipios de la región Media (Figura 26).



**Figura 24. Total de incendios forestales en el estado de San Luis Potosí, México durante el año 2002.** Fuente: elaborado con base en datos obtenidos de la Comisión Nacional Forestal, Gerencia Estatal, 2014.



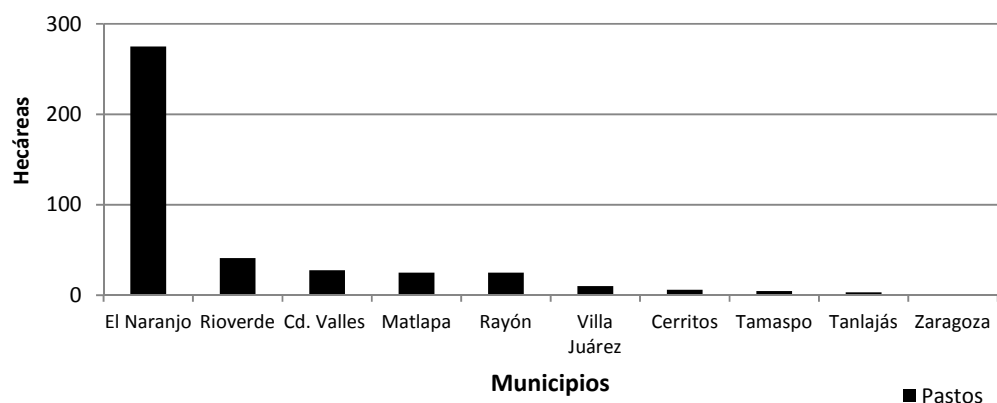
**Figuras 25. Superficie total de hierba y arbustos siniestrados durante el año 2002 en el estado de San Luis Potosí, México.** Fuente: elaborado con base en datos obtenidos de la Comisión Nacional Forestal, Gerencia Estatal, 2014.



**Figura 26. Mapa de regiones de San Luis Potosí, México.** Fuente: elaborado con base en información del INEGI, 2007.

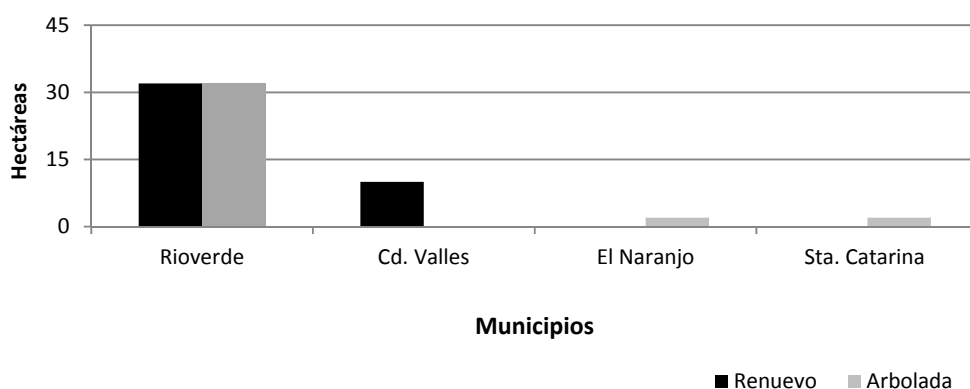
El siguiente tipo de vegetación más afectada fueron los pastos, el estado reportó 418 ha afectadas. La mayor superficie siniestrada fue reportada por los

municipios de El Naranjo con 275 ha y Rioverde con 41 ha (Figura 27). Como se puede observar, existe una gran diferencia entre un municipio y otro, mientras uno se localiza en la Huasteca Potosina, el otro se ubica en la Región Media como en el caso del estrato vegetativo anterior.



**Figuras 27. Superficie total de pastos siniestrados durante el año 2002 en el estado de San Luis Potosí, México.** Fuente: elaborado con base en datos obtenidos de la Comisión Nacional Forestal, Gerencia Estatal, 2014.

Por último, la vegetación de renuevo y la arbolada ocupan los últimos lugares del total de superficie siniestrada del estado. El renuevo sólo reportó 42 ha dañadas y la arbolada 36 ha Dentro de los municipios afectados se encontraron Rioverde, Ciudad Valles, El Naranjo y Santa Catarina (Figura 28).



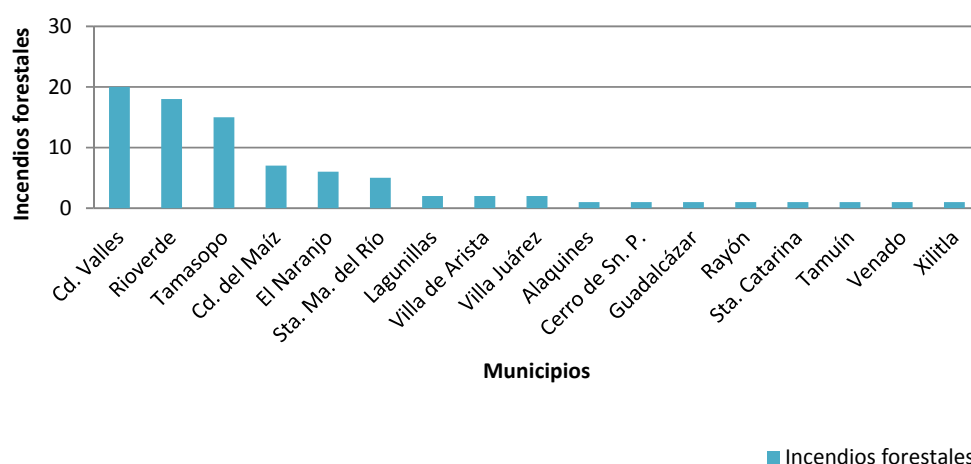
**Figuras 28. Superficie total de renuevo y arbolada siniestrados durante el año 2002 en el estado de San Luis Potosí, México.** Fuente: elaborado con base en datos obtenidos de la Comisión Nacional Forestal, Gerencia Estatal, 2014.

El año 2003 mostró un número de incendios forestales semejante del 2002, la cifra no mostró un aumento, pero tampoco un descenso considerable. El estado presentó 85 fuegos forestales y 17 estados siniestrados. Entre ellos destacan nuevamente Ciudad Valles y Rioverde con 20 y 18 eventos, respectivamente, así como Tamasopo con 15 incendios (Figura 29).

Por otro lado, a pesar de que la diferencia en el número de incendios forestales y superficie total siniestrada entre estos años (2002, 2003) y el año 2001 es considerable (85.5 vs 39, incendios en promedio), la diferencia entre el total de municipios afectados no lo es. En el año 2001 se registraron 13 municipios afectados, mientras que en 2002 y 2003 fueron 19 y 17, correspondientemente, los que nos habla posiblemente de diferente tipo de incendios y de diversas magnitudes.

En este año se reportaron 5,048.25 ha siniestradas en el estado, la mayor cifra de superficie afectada del periodo aquí analizado. A pesar de contar sólo con 85 fuegos forestales superó el número de hectáreas afectadas durante el año 2000 por 419.75 ha siniestradas.

El estrato de vegetación más afectado fue el de la hierba y arbustos con 3,669.75 ha, seguido de los pastos con 908.50 ha, después del renuevo con 337.00 ha y, por último la arbolada con 133.00 ha

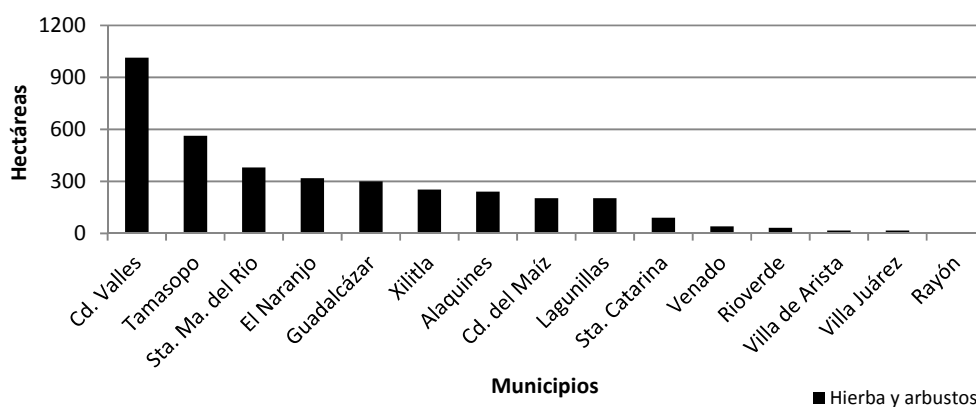


**Figura 29. Total de incendios forestales en el estado de San Luis Potosí, México durante el año 2003.** Fuente: elaborado con base en datos obtenidos de la Comisión Nacional Forestal, Gerencia Estatal, 2014.

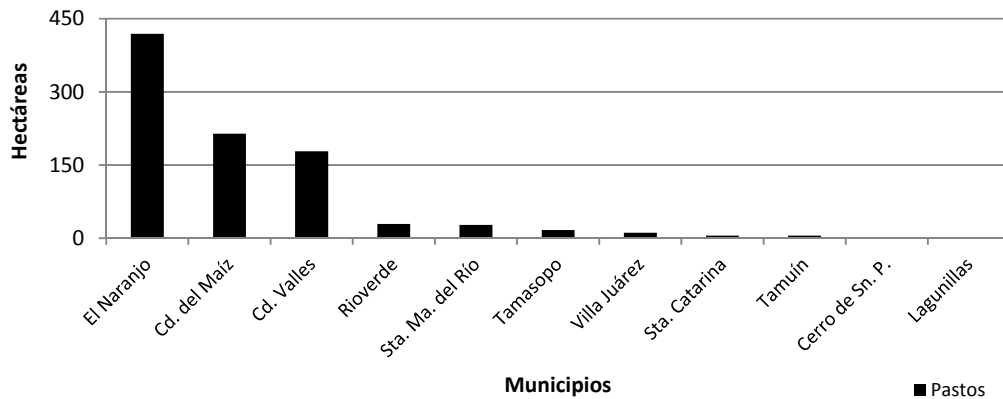
Los municipios que reportaron siniestro en hierbas y arbustos fueron 15, entre los cuales destaca Ciudad Valles que ocupó el primer lugar con 1,014 eventos, Tamasopo en segundo lugar con 563 incendios y en tercer lugar, figuraron Santa María del Río, El Naranjo y Guadalcázar con 380, 318 y con 300 incendios forestales, correspondientemente (Figura 30).

La afectación de los pastos fue reportada por 11 municipios. El Naranjo, Ciudad del Maíz y Ciudad Valles ocuparon los primeros lugares al reportar el mayor número de incendios en este tipo de vegetación. Los números de eventos reportados fueron 419, 214 y 178, respectivamente (Figura 31).

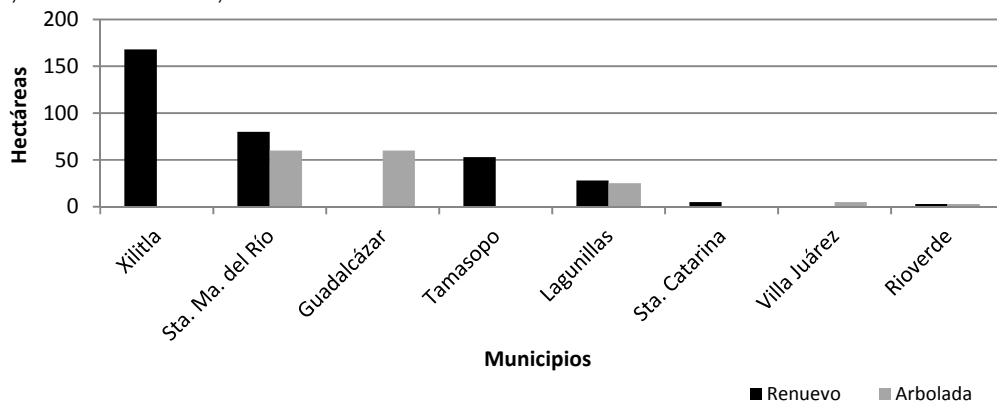
La superficie de renuevo y la arbolada, durante este año, fueron los estratos de vegetación menos afectados. Del 100% que representaron las hierbas y arbustos, esta vegetación sólo representó el 9.1% y 3.6% de superficie siniestrada en el estado. Entre los municipios dañados destacan Xilitla, Santa María del Río, Guadalcázar, Tamasopo, Lagunillas, Villa Juárez, Santa Catarina y Rioverde (Figura 32).



**Figura 30. Superficie total de hierba y arbustos siniestrados durante el año 2003 en el estado de San Luis Potosí, México.** Fuente: elaborado con base en datos obtenidos de la Comisión Nacional Forestal, Gerencia Estatal, 2014.



**Figuras 31. Superficie total de pastos siniestrados durante el año 2003 en el estado de San Luis Potosí, México.** Fuente: elaborado con base en datos obtenidos de la Comisión Nacional Forestal, Gerencia Estatal, 2014.

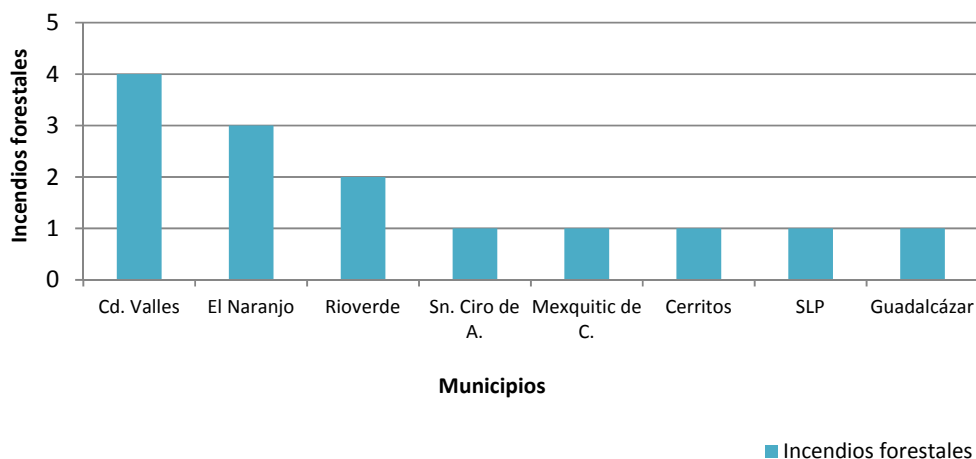


**Figuras 32. Superficie total de renuevo y arbolada siniestrada durante el año 2003 en el estado de San Luis Potosí, México.** Fuente: elaborado con base en datos obtenidos de la Comisión Nacional Forestal, Gerencia Estatal, 2014.

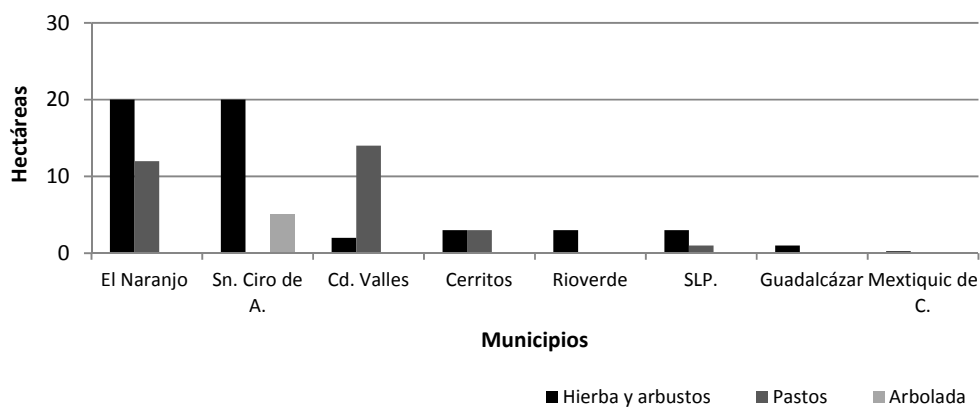
Del periodo aquí analizado (2000 a 2009), el año 2004 fue el año que menor número de incendios forestales presentó. Sus 14 eventos sólo mostraron afectaciones en 8 municipios del estado; cuatro incendios forestales en Ciudad Valles, tres en El Naranjo, dos en Rioverde y sólo un evento en San Ciro de Acosta, Mexquitic de Carmona, Cerritos, San Luis Potosí y Guadalcázar (Figura 33).

Sólo tres estratos vegetativos fueron afectados, las hierbas y arbustos, los pastos y la arbolada. De éstos, las hierbas y arbustos fueron los más afectados, la cifra reportada fue de 52.25 ha siniestradas por los municipios de El Naranjo, San Ciro de Acosta, Cerritos, Rioverde, San Luis Potosí, Ciudad Valles y Guadalcázar. Los pastos sólo presentaron 30.25 ha dañadas en cuatro municipios, Ciudad

Valles, El Naranjo, Cerritos y San Luis Potosí. El último estrato fue la arbolada, la cifra que presentó fue de 5.0 ha siniestradas únicamente por el municipio de San Ciro de Acosta (Figura 34).



**Figura 33. Total de incendios forestales en el estado de San Luis Potosí, México durante el año 2004.** Fuente: elaborado con base en datos obtenidos de la Comisión Nacional Forestal, Gerencia Estatal, 2014.

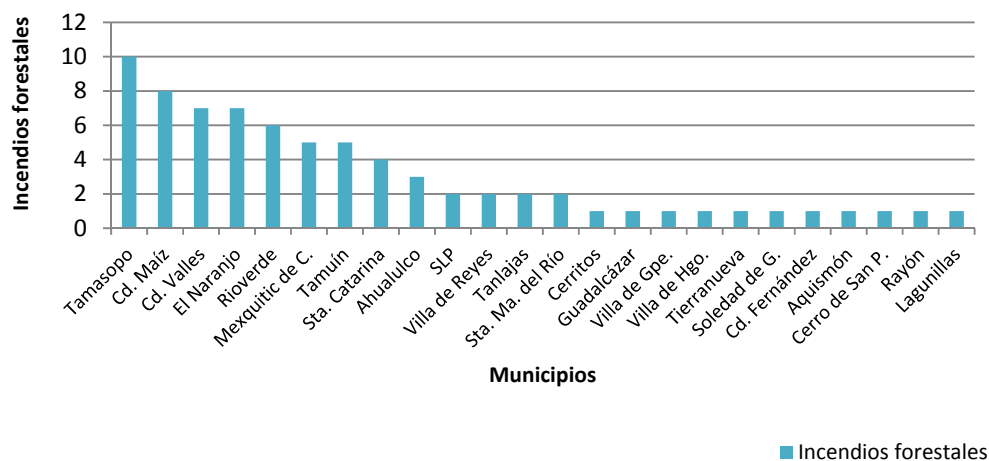


**Figuras 34. Superficie total de hierba y arbustos, pastos y arbolada siniestrada durante el año 2004 en el estado de San Luis Potosí, México.** Fuente: elaborado con base en datos obtenidos de la Comisión Nacional Forestal, Gerencia Estatal, 2014.

Por otro lado, el año 2005 mostró un aumento significativo. El número de incendios forestales se registró en 74 episodios, en tanto que los municipios afectados fueron 24, dos veces más que los municipios afectados el año anterior. Entre los municipios mayormente afectados se observó a Tamasopo con diez eventos, Ciudad del Maíz con ocho y Ciudad Valles y El naranjo con siete



incendios. Como se observa en la figura 35, los municipios que sólo reportaron un evento fueron 11, entre los que encuentran: Cerritos, Guadalcázar, Villa Guadalupe, Villa Hidalgo, Tierra Nueva, Soledad de Graciano Sánchez, Ciudad Fernández, Aquismón, Cerro de San Pedro, Rayón y Lagunillas.

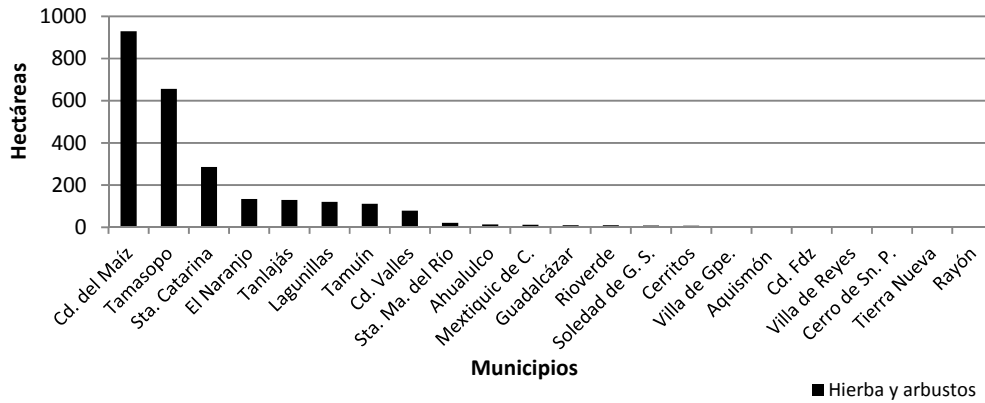


**Figura 35. Total de incendios forestales en el estado de San Luis Potosí, México durante el año 2005.** Fuente: elaborado con base en datos obtenidos de la Comisión Nacional Forestal, Gerencia Estatal, 2014.

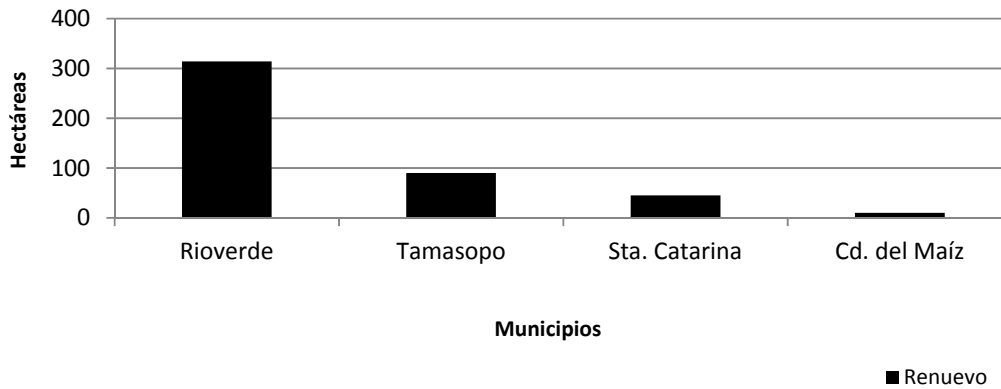
Entre la vegetación mayormente afectada figuraron la hierba y arbustos, la cifra de superficie siniestrada ascendió a 2,547 ha, un 4,874.64% respecto de la cifra que se reportó en el año 2004 (52.25 ha siniestradas). Los municipios más afectados fueron Ciudad del Maíz, Tamasopo y Santa Catarina (Figura 36).

Otro de los estratos vegetativos más afectados fue el renuevo. El año anterior no se informó sobre daños en este estrato, y para este año la cifra alcanzó las 459 ha siniestradas totales en cuatro municipios del estado, Rioverde, Tamasopo, Santa Catarina y Ciudad del Maíz (Figura 37).

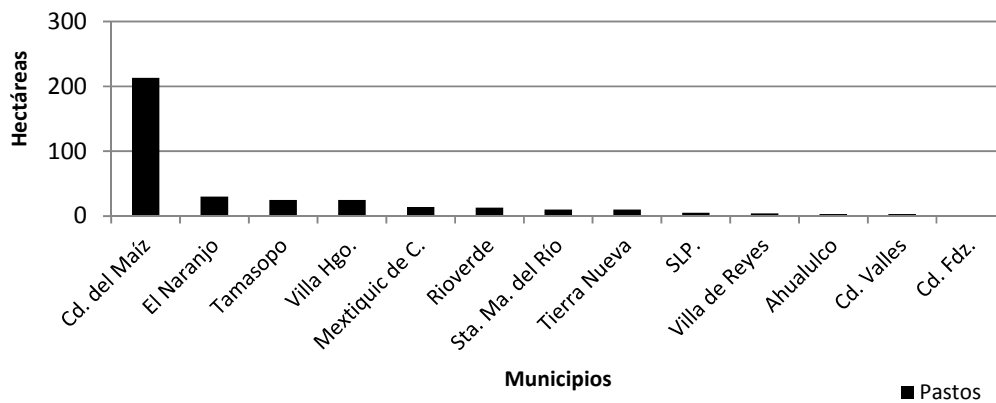
Para el caso de los pastos y la arbolada, las cifras reportadas ascendieron hasta 356 y 295 ha siniestradas, respectivamente. En comparación con las cantidades reportadas en 2004, se observa un claro aumento en el número de incendios forestales, superficie afectada y el tipo de estrato vegetativo siniestrado. Los municipios afectados por incendios en pastos fueron 13, mientras que en arbolada fueron sólo siete. Ciudad del Maíz y El Naranjo fueron los municipios que reportaron mayor superficie afectada de pastos, y Rioverde y Lagunillas por Arbolada (Figuras 38 y 39).



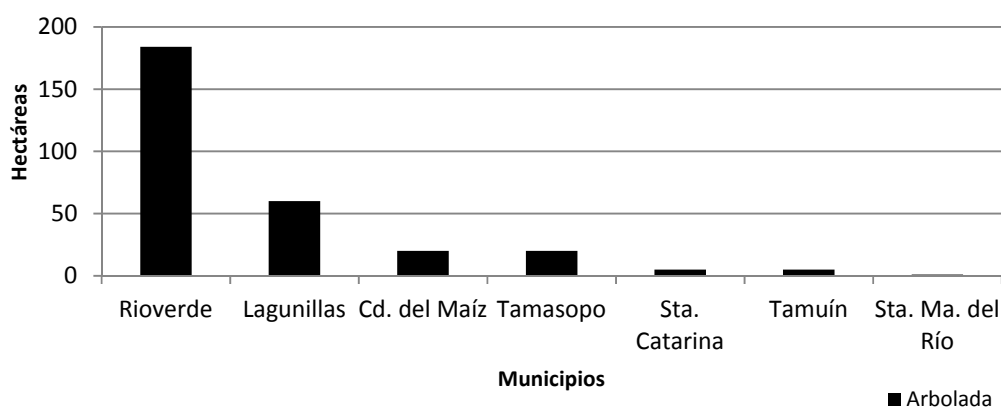
**Figuras 36. Superficie total de hierba y arbustos siniestrados durante el año 2005 en el estado de San Luis Potosí, México.** Fuente: elaborado con base en datos obtenidos de la Comisión Nacional Forestal, Gerencia Estatal, 2014.



**Figuras 37 Superficie total de renovación siniestrado durante el año 2005 en el estado de San Luis Potosí, México.** Fuente: elaborado con base en datos obtenidos de la Comisión Nacional Forestal, Gerencia Estatal, 2014.

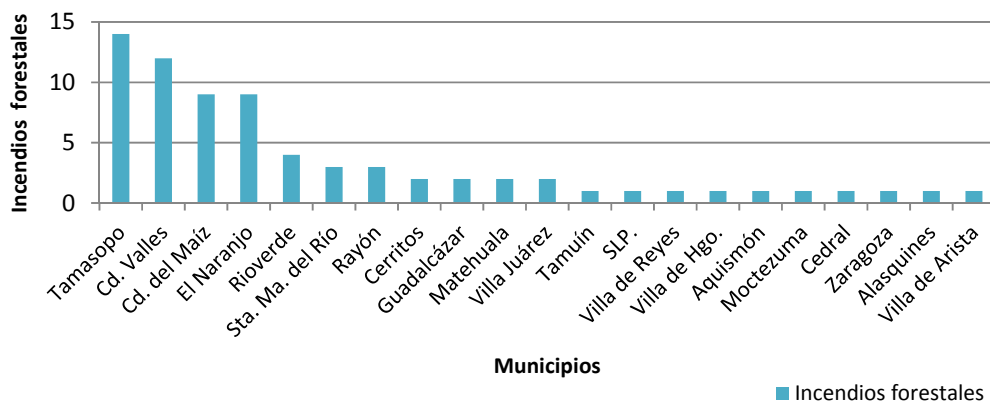


**Figuras 38. Superficie total de pastos siniestrados durante el año 2005 en el estado de San Luis Potosí, México.** Fuente: elaborado con base en datos obtenidos de la Comisión Nacional Forestal, Gerencia Estatal, 2014.



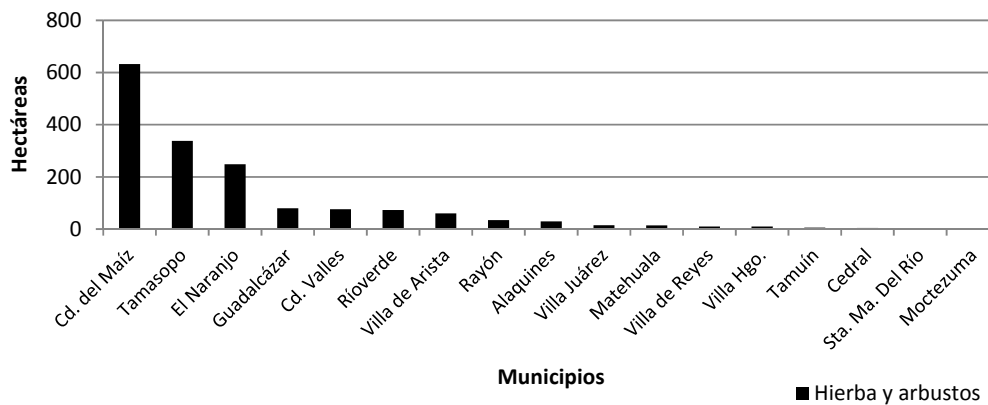
**Figuras 39. Superficie total de arbolada siniestrada durante el año 2005 en el estado de San Luis Potosí, México.** Fuente: elaborado con base en datos obtenidos de la Comisión Nacional Forestal, Gerencia Estatal, 2014.

En el año 2006 el promedio en el número de incendios forestales se mantuvo. La cifra para este año fue de 72 eventos, dos eventos menos que en el año 2005. Los municipios afectados fueron 21 y de ellos, cuatro fueron los que presentaron un mayor número de eventos, Tamasopo, Ciudad Valles, Ciudad del Maíz y El Naranjo (Figura 40), los mismos municipios afectados durante 2005.



**Figura 40. Total de incendios forestales en el estado de San Luis Potosí, México durante el año 2006.** Fuente: elaborado con base en datos obtenidos de la Comisión Nacional Forestal, Gerencia Estatal, 2014.

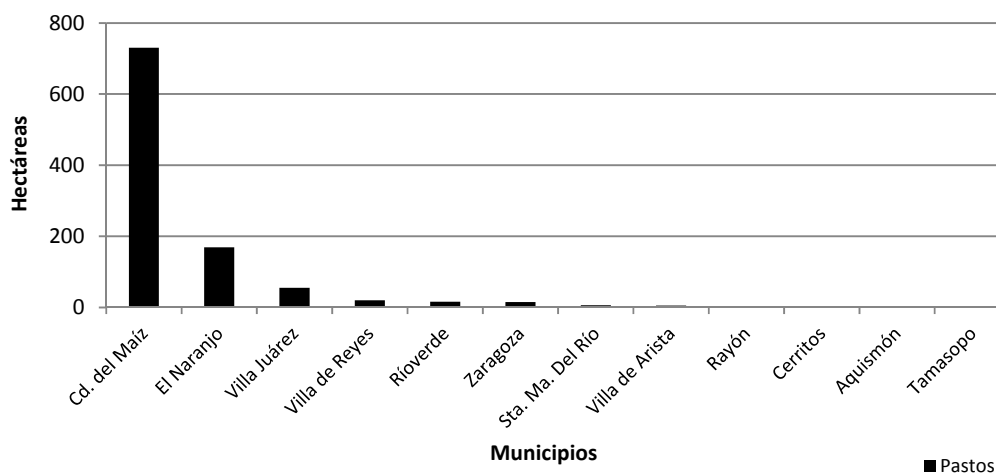
La superficie afectada sumó 2,746.30 ha, el 75.09% con respecto de la cifra reportada durante el año 2005. El estrato más afectado fue nuevamente la hierba y arbustos con un total de 1,653.30 ha siniestradas en 17 municipios; los más afectados fueron Ciudad del Maíz (632 ha), Tamasopo (338 ha) y El Naranjo (249 ha) (Figura 41).



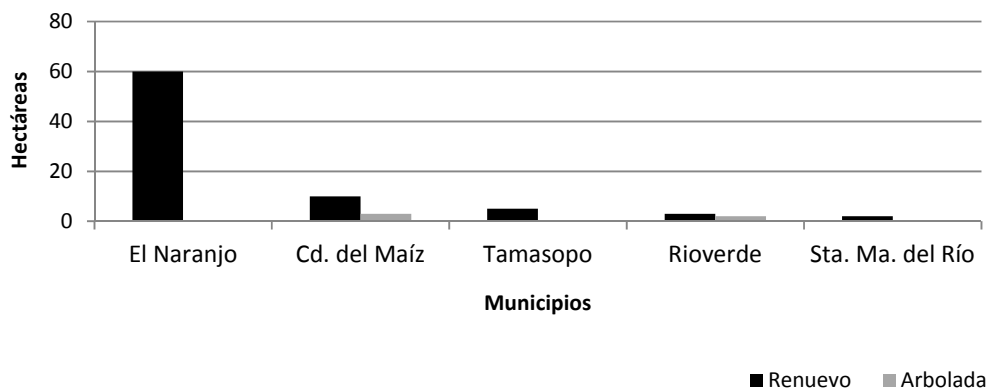
**Figuras 41. Superficie total de hierba y arbustos siniestrados durante el año 2006 en el estado de San Luis Potosí, México.** Fuente: elaborado con base en datos obtenidos de la Comisión Nacional Forestal, Gerencia Estatal, 2014.

El siguiente estrato afectado fueron los pastos. La cantidad reportada fue de 1,026.30 ha siniestradas y entre los municipios más dañados figuraron Ciudad del Maíz (730 ha), El Naranjo (169 ha) y Villa Juárez (55 ha) (Figura 42).

Por último, el renuevo y la arbolada mostraron afectaciones menores, el primero en cinco municipios con 80 ha siniestradas y la arbolada en dos municipios con cinco ha afectadas (Figura 43).

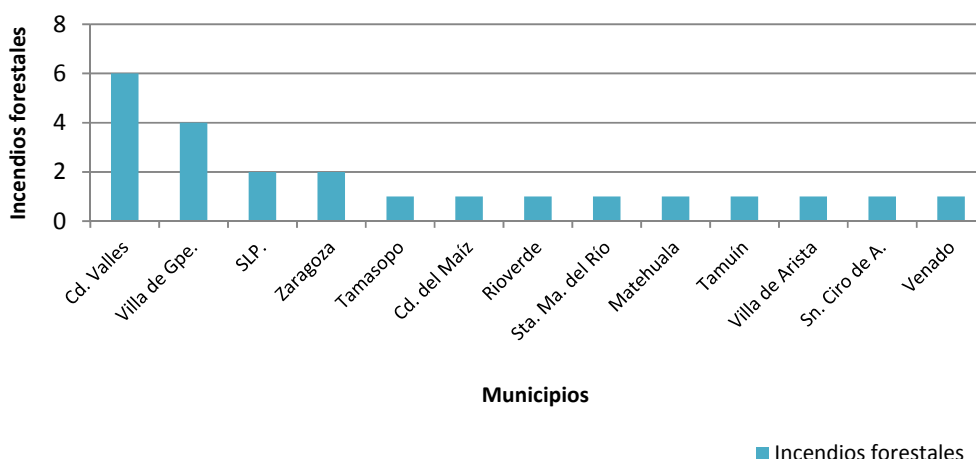


**Figuras 42. Superficie total de pastos siniestrados durante el año 2006 en el estado de San Luis Potosí, México.** Fuente: elaborado con base en datos obtenidos de la Comisión Nacional Forestal, Gerencia Estatal, 2014.



**Figuras 43. Superficie total de renuevo y arbolada siniestrada durante el año 2006 en el estado de San Luis Potosí, México.** Fuente: elaborado con base en datos obtenidos de la Comisión Nacional Forestal, Gerencia Estatal, 2014.

Para el año 2007, se observó un descenso considerable en el número de eventos; después del año 2004, este año ocupa el segundo lugar en menor número de incendios forestales registrados en el estado. En total, el estado informó de 23 fuegos forestales que dañaron a 13 municipios. Entre los más afectados destacaron Ciudad Valles con seis eventos y Villa de Guadalupe con cuatro incendios. El resto de municipios sólo reportaron entre uno y dos incendios forestales (Figura 44).

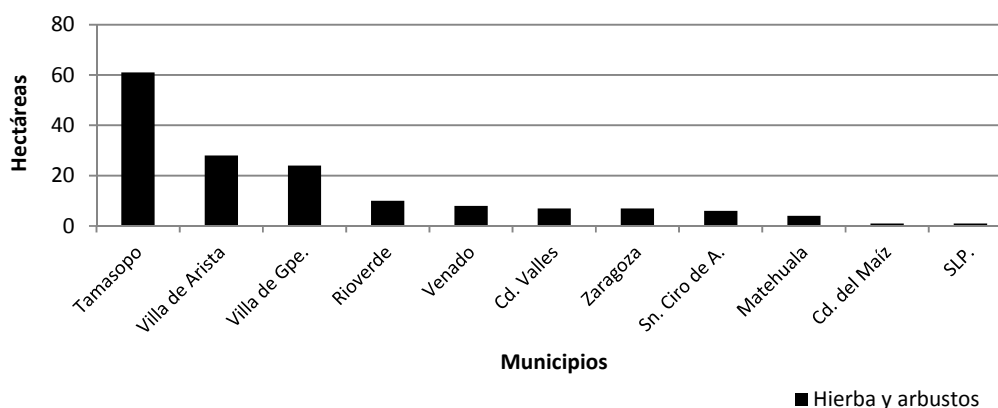


**Figura 44. Total de incendios forestales en el estado de San Luis Potosí, México durante el año 2007.** Fuente: elaborado con base en datos obtenidos de la Comisión Nacional Forestal, Gerencia Estatal, 2014.

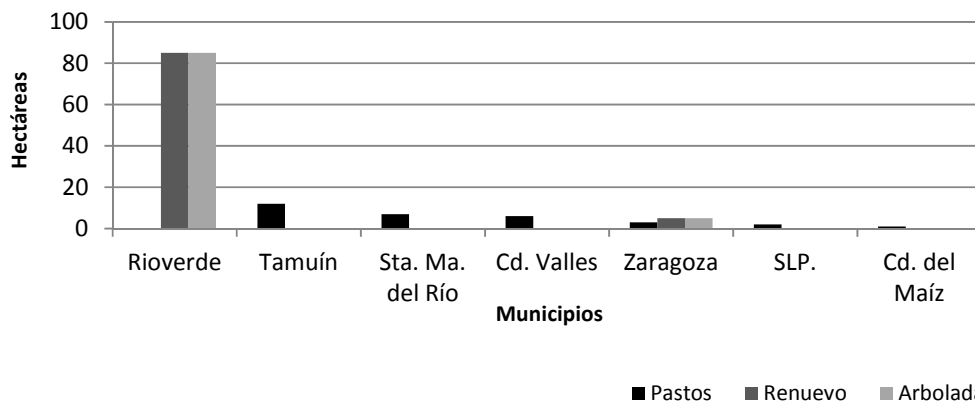
La superficie siniestrada osciló entre las 302 hectáreas y los municipios mayormente dañados fueron Rioverde (120 ha siniestradas) y Tamasopo (61 ha siniestradas). Los municipios que reportan el mayor número de incendios forestales no son los mismos que presentan la mayor superficie afectada y tampoco los estratos vegetacionales son afectados en las mismas proporciones cada año.

Durante 2007, la hierba y arbustos fueron el estrato mayormente siniestrado, en total se reportaron 156 ha afectadas por 11 municipios, entre los cuales Tamasopo, Villa de Arriaga y Villa de Guadalupe informaron sobre los mayores daños (Figura 45).

El renuevo y la superficie arbolada en total presentaron 180 ha siniestradas, 90 ha respectivamente en los mismos municipios, Rioverde y Zaragoza. Por último, los pastos mostraron la menor afectación, en este estrato sólo figuraron 6 municipios con un total de 31 ha siniestradas (Figura 46).

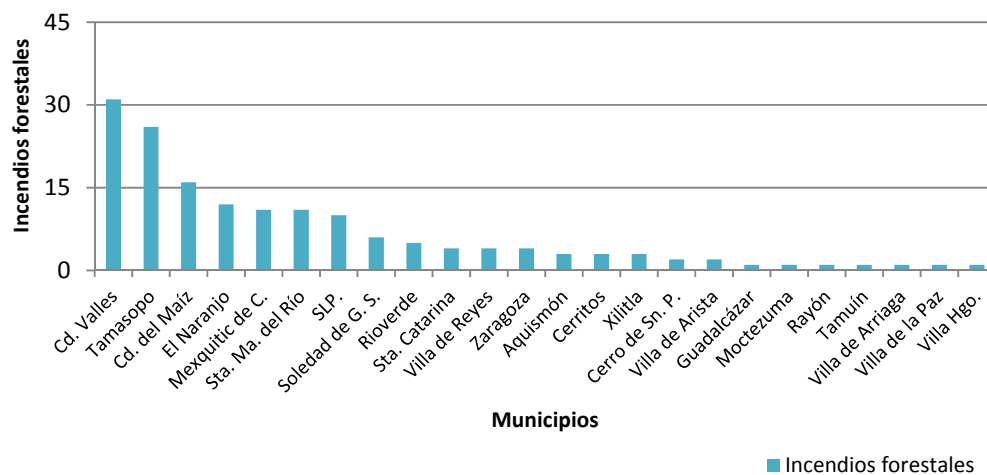


**Figuras 45. Superficie total de hierba y arbustos siniestrados durante el año 2007 en el estado de San Luis Potosí, México.** Fuente: elaborado con base en datos obtenidos de la Comisión Nacional Forestal, Gerencia Estatal, 2014.

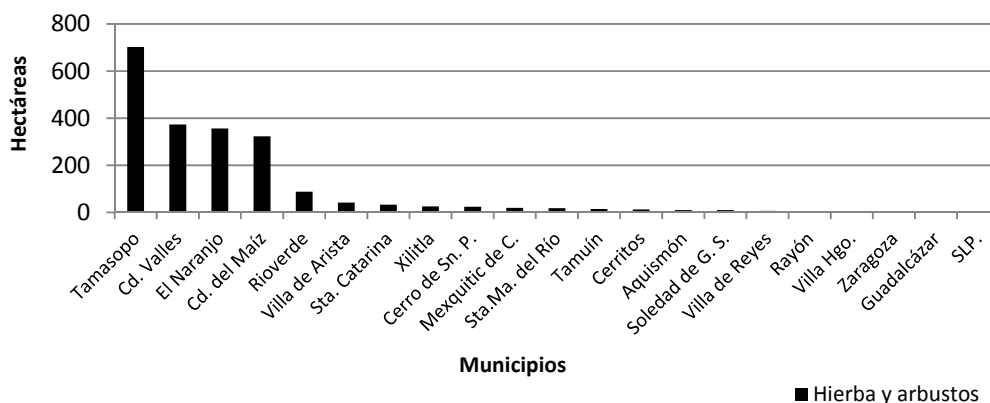


**Figuras 46. Superficie total de renuevo, arbolada y pastos siniestrados durante el año 2007 en el estado de San Luis Potosí, México.** Fuente: elaborado con base en datos obtenidos de la Comisión Nacional Forestal, Gerencia Estatal, 2014.

El año 2008 no fue un año El Niño, pero se registró como año La Niña hasta el mes de mayo (septiembre 2007 a mayo 2008); aun así, fue el año que mayor número de incendios forestales registró del periodo analizado. Los 160 eventos fueron reportados por 24 municipios y la superficie siniestrada constó en 3,547.00 ha (Figura 47). El estrato más afectado fue la hierba y arbustos, los daños se calcularon en 2,073 ha en 21 municipios del estado. Los municipios que reportados superficie siniestrada por arriba de las 300 ha fueron Tamasopo, Ciudad Valles, El Naranjo y Ciudad del Maíz (Figura 48).

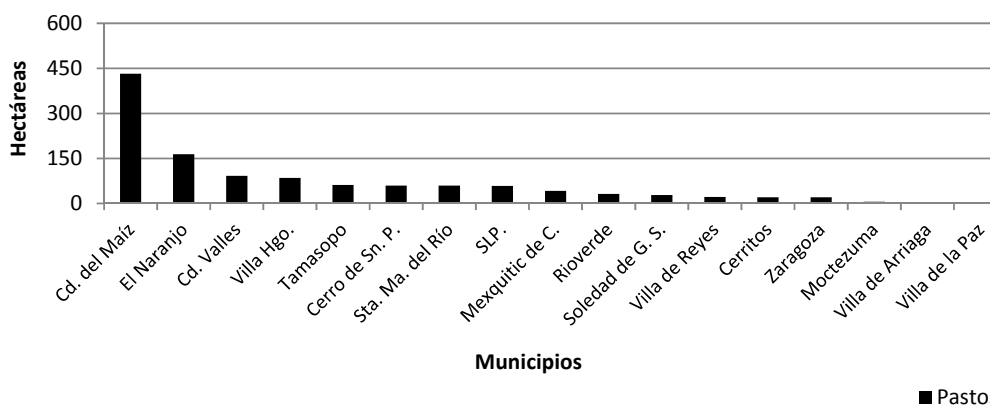


**Figura 47. Total de incendios forestales en el estado de San Luis Potosí, México durante el año 2008.** Fuente: elaborado con base en datos obtenidos de la Comisión Nacional Forestal, Gerencia Estatal, 2014.



**Figuras 48. Superficie total de hierba y arbustos siniestrados durante el año 2008 en el estado de San Luis Potosí, México.** Fuente: elaborado con base en datos obtenidos de la Comisión Nacional Forestal, Gerencia Estatal, 2014.

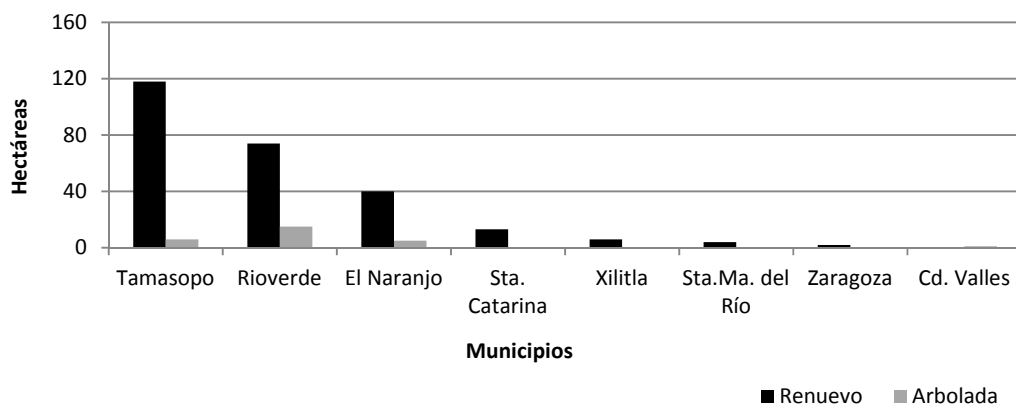
Por otro lado, se reportaron a los pastos con 1,189 ha siniestradas. En este estrato vegetacional 17 municipios fueron los afectados y entre ellos, Ciudad del Maíz fue el municipio que reportó la mayor superficie siniestrada, 432 ha, aproximadamente el 36.3% del total de la superficie siniestrada en este estrato (Figuras 49).



**Figura 49. Superficie total de pastos siniestrados durante el año 2008 en el estado de San Luis Potosí, México.** Fuente: elaborado con base en datos obtenidos de la Comisión Nacional Forestal, Gerencia Estatal, 2014.

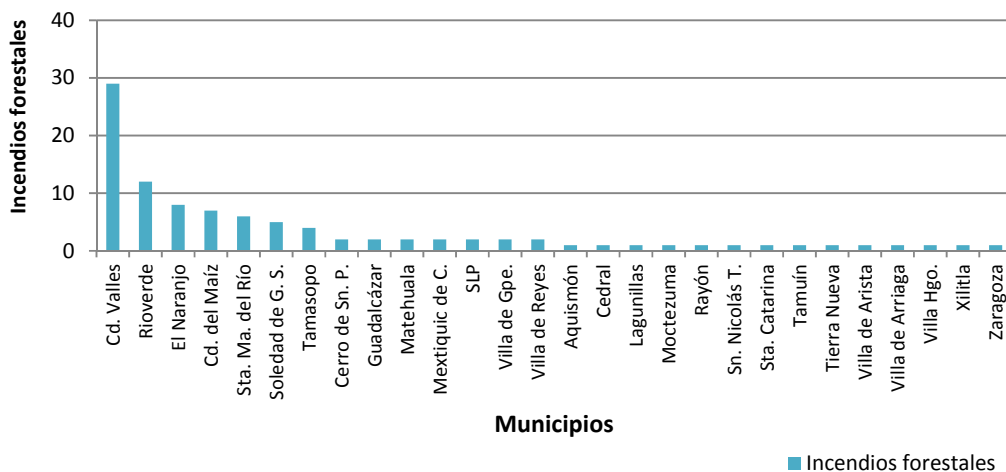
El renuevo y la superficie arbolada, reportaron las menores cifras por siniestro de incendio. Para el primer estrato vegetacional siete municipios reportaron un total de 257 ha, mientras que para el segundo estrato, sólo cinco municipios reportaron daños por un total de 29 ha siniestradas (Figura 50).





**Figuras 50. Superficie total de renuevo y arbolada siniestradas durante el año 2008 en el estado de San Luis Potosí, México.** Fuente: elaborado con base en datos obtenidos de la Comisión Nacional Forestal, Gerencia Estatal, 2014.

Finalmente, para el año 2009 se observó un claro descenso del número de incendios en el estado. Durante este año se registraron 99 eventos en 28 municipios del estado. Entre los municipios que reportaron mayor número de incendios se encuentra Ciudad Valles con 29 eventos y Rioverde con 12. Los municipios restantes presentan un número de eventos entre ocho y un eventos (Figura 51).

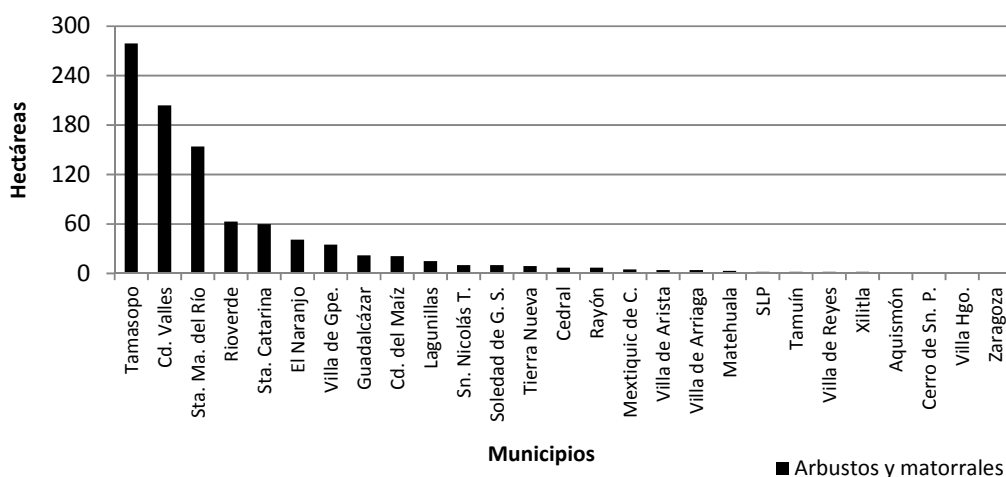


**Figura 51 Total de incendios forestales en el estado de San Luis Potosí, México durante el año 2009.** Fuente: elaborado con base en datos obtenidos de la Comisión Nacional Forestal, Gerencia Estatal, 2014.

La superficie siniestrada se reportó en 1,507 ha, 2,040 ha menos que en el año 2008. El estrato vegetal más afectado fueron los arbustos y matorrales con 961 ha, seguido por los pastos con 496 ha. El renuevo y la arbolada fueron los

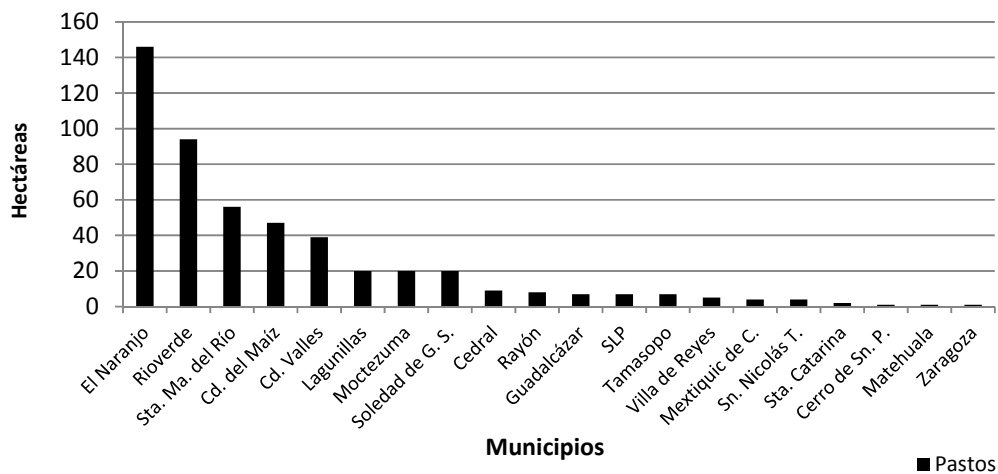
estratos menos afectados, el primero reportó 31 ha y el segundo 21 ha

Los municipios que reportaron las mayores afectaciones en arbustos y matorrales fueron Tamasopo (279 ha), Ciudad Valles (204 ha) y Santa María del Río (154 ha). Su superficie siniestrada representa el 42.26 % de la vegetación arbustiva y de matorrales en el estado, es decir casi la mitad de la superficie total afectada. Entre los municipios que mostraron menor superficie siniestrada se observó a Aquismón, Cerro de San Pedro y Villa Hidalgo con sólo una ha incendiada (Figura 52).



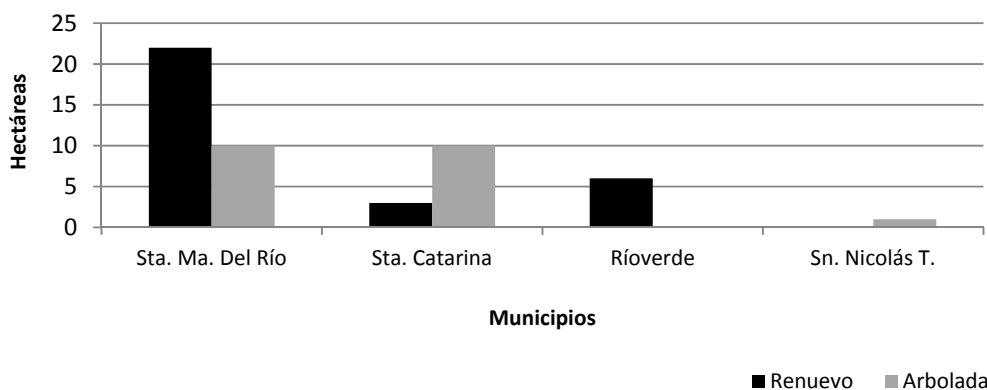
**Figuras 52. Superficie total de hierba y arbustos siniestrados durante el año 2009 en el estado de San Luis Potosí, México.** Fuente: elaborado con base en datos obtenidos de la Comisión Nacional Forestal, Gerencia Estatal, 2014.

Las afectaciones en los pastos fueron reportadas por 20 municipios del estado de San Luis Potosí. El municipio de El Naranjo y Rioverde informaron sobre la mayor superficie incendiada con 146 y 94 ha, mientras que Cerro de San Pedro, Matehuala y el municipio de Zaragoza reportaron un ha afectada, respectivamente (Figura 53).



**Figuras 53. Superficie total de pastos siniestrados durante el año 2009 en el estado de San Luis Potosí, México.** . Fuente: elaborado con base en datos obtenidos de la Comisión Nacional Forestal, Gerencia Estatal, 2014.

Por último, la superficie incendiada de renuevo fue reportada por tres municipios del estado, Santa María del Río (22 ha), Rioverde (6 ha) y Santa Catarina (3 ha). Dos de estos municipios, también informaron sobre daños en el estrato vegetacional arbolada, Santa María del Río y Santa Catarina con 10 ha incendiadas, cada uno. En suma, estos estratos vegetacionales representaron el 2.05% (renuevo) y 1.39% (arbolada) del total de la superficie siniestrada por incendios forestales durante el año 2009 (Figura 54).



**Figuras 54. Superficie total de renuevo y arbolada siniestradas durante el año 2009 en el estado de San Luis Potosí, México.** Fuente: elaborado con base en datos obtenidos de la Comisión Nacional Forestal, Gerencia Estatal, 2014.

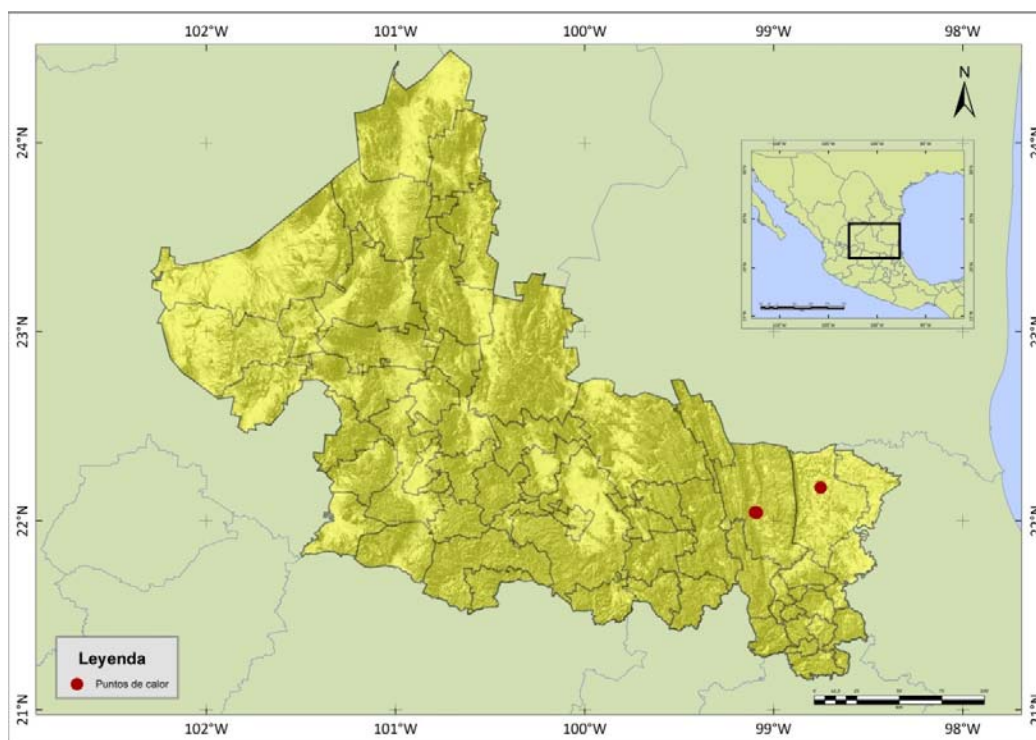
### 3.3. Análisis de los puntos de calor (FIRMS-NOAA) en San Luis Potosí

El análisis espacial de los puntos de calor (P.C.) que se realizó para el estado de San Luis Potosí comprendió el periodo 2000-2013 debido a la disponibilidad de los datos. De acuerdo con *Fire Information for Resource Management System* (FIRMS-NASA), los datos del sensor MODIS (satélite Terra) están disponibles desde el mes de noviembre del año 2000, y a partir de julio de 2002 se encuentran los datos pero a través del satélite Aqua (NASA LANCE-FIRMS, 2014).

Con base en la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO, 2014a), un punto de calor se define como aquel elemento espacial mínimo de la imagen (píxel) que reporta una temperatura elevada, donde su valor mínimo para considerar un píxel como punto de calor con imágenes nocturnas es de 25°C y para las imágenes diurnas la temperatura mínima considerada es de 42°C. Es decir, un punto de calor es cualquier fuente que tiene una emisión en el rango del espectro rojo-infrarrojo cercano, lo suficientemente fuerte como para ser detectada por el sensor. Sin embargo, dicha fuente puede ser provocada por diversas fuentes como incendios, quemas agrícolas, suelos calentados por el sol, grandes chimeneas (llamas de gas en pozos petroleros), volcanes activos, entre otras.

Por tal razón, los puntos de calor no pueden precisarse como incendios forestales y tampoco se puede definir si se trata de uno o varios incendios ubicados en un píxel y la magnitud que tienen. No obstante, su estudio nos sirve como indicador del comportamiento de la temperatura y además nos ayuda a delimitar el área más vulnerable a posibles incendios.

Los puntos de calor registrados durante el año 2000 sólo fueron 3, debido, como ya se ha mencionado anteriormente; al funcionamiento del sensor MODIS. Sus fechas comprenden del 28 de noviembre al 18 de diciembre de este año (Figura 55).

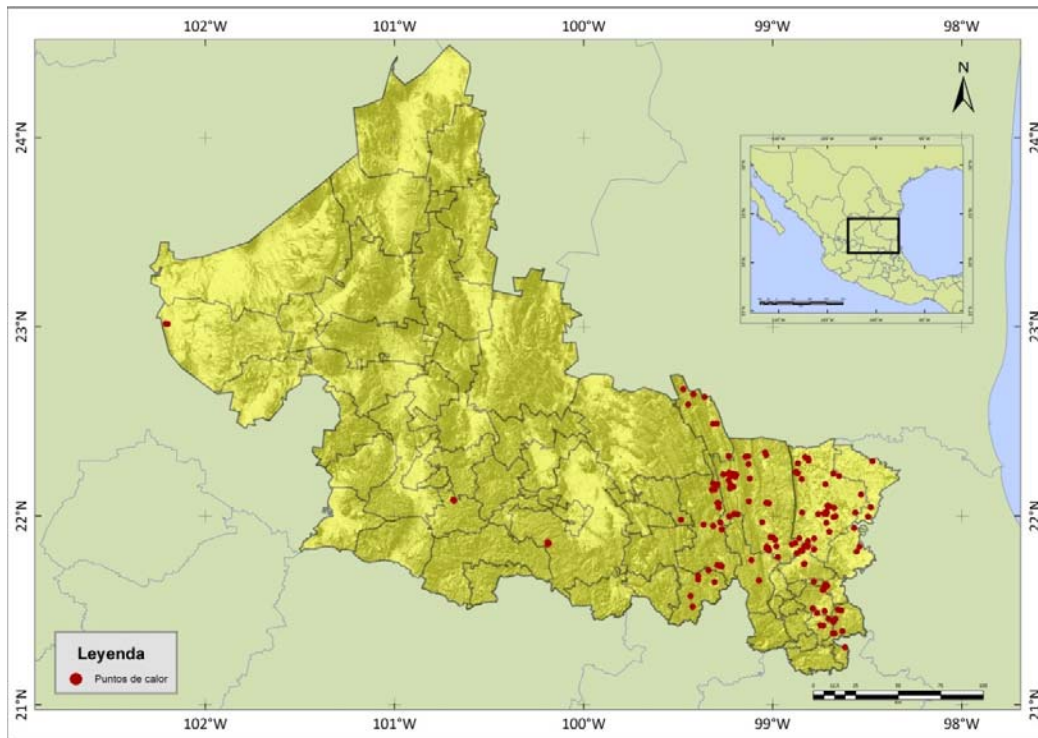


**Figura 55. Puntos de calor para el año 2000 en San Luis Potosí.** Fuente: elaborado con base en datos de NASA LANCE-FIRMS, 2014.

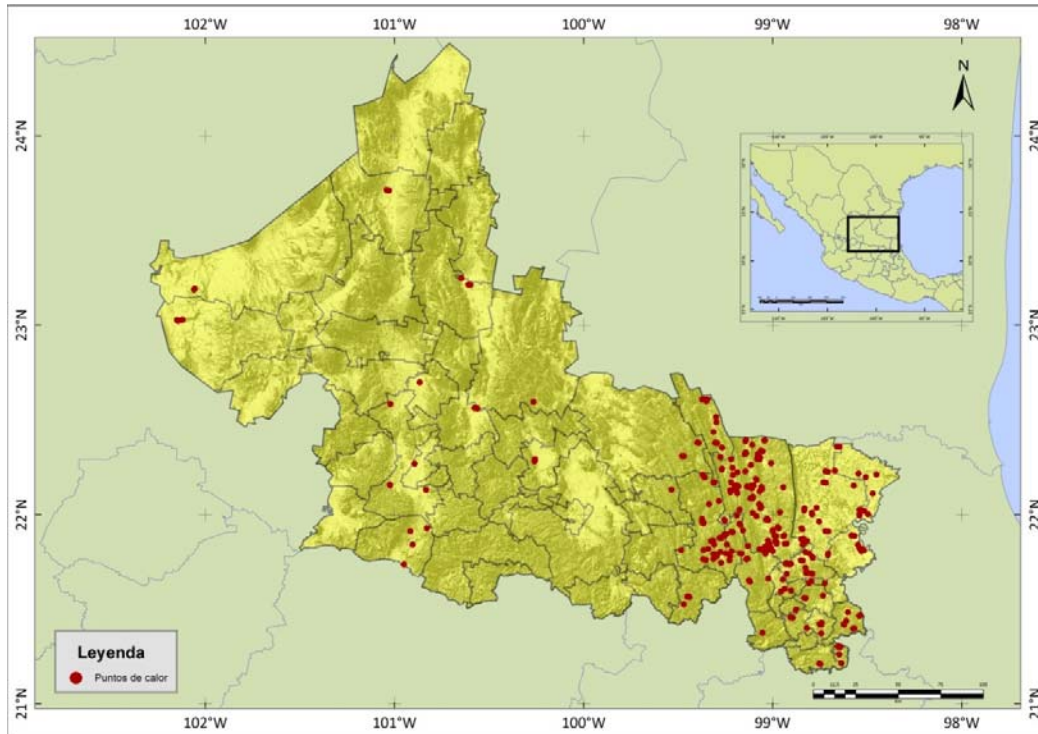
Para los años sucesivos se muestra un incremento considerable en el número de los puntos de calor. En el año 2001 se tienen registrados 145 del 10 de enero al 30 de diciembre y durante 2002, 286 del 6 de enero al 31 de diciembre. En el primer año los meses con mayor presencia de P. C. son marzo, abril y mayo, y para el 2002, abril y mayo (Figuras 56 y 57).

Posteriormente, en los años 2003 y 2004 se observó un comportamiento distinto. Por un lado, durante el año 2003 se registró un aumento de puntos de calor y por el otro, en 2004 una disminución significativa. En 2003 los puntos de calor ascendieron a 691 y en 2004, la cifra disminuyó hasta 319 fuentes de ignición (Figuras 58 y 59).

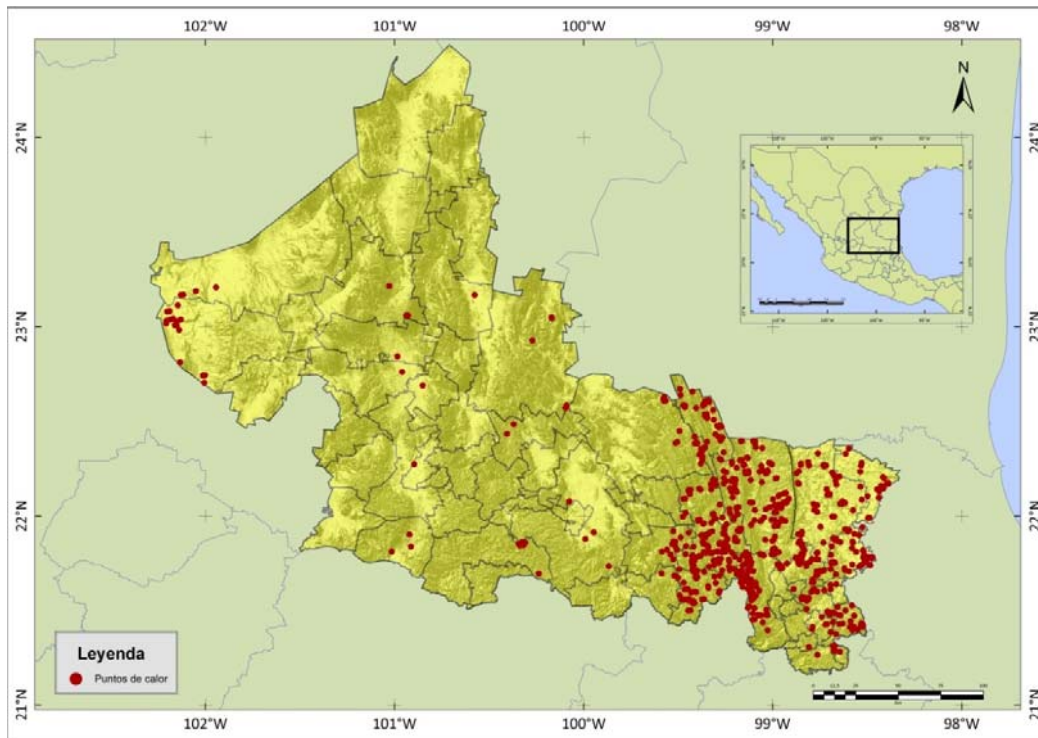
Los años siguientes, 2005 y 2006 tuvieron una cifra similar. Los puntos de calor registrados por el sensor se ubicaron por arriba de 700 eventos; exactamente 703 y 724, respectivamente. Hasta estos años, entre los meses en que se concentraron los puntos de calor estuvieron marzo, abril y mayo (Figuras 60 y 61).



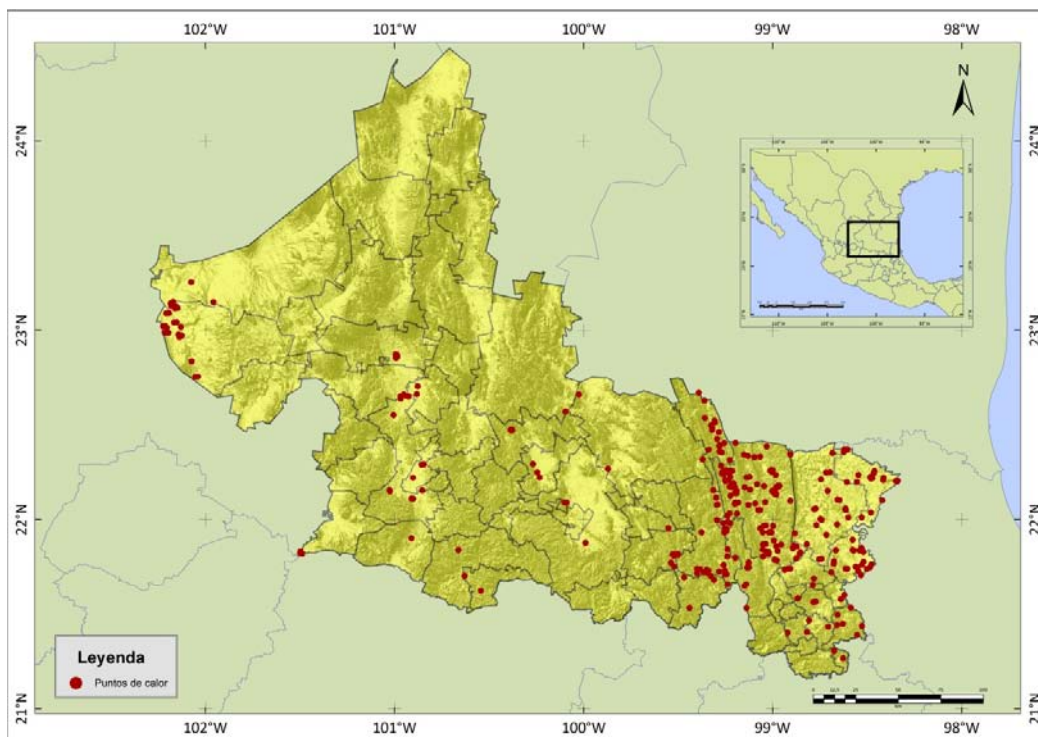
**Figura 56. Puntos de calor para el año 2001 en San Luis Potosí.** Fuente: elaborado con base en datos de NASA LANCE-FIRMS, 2014.



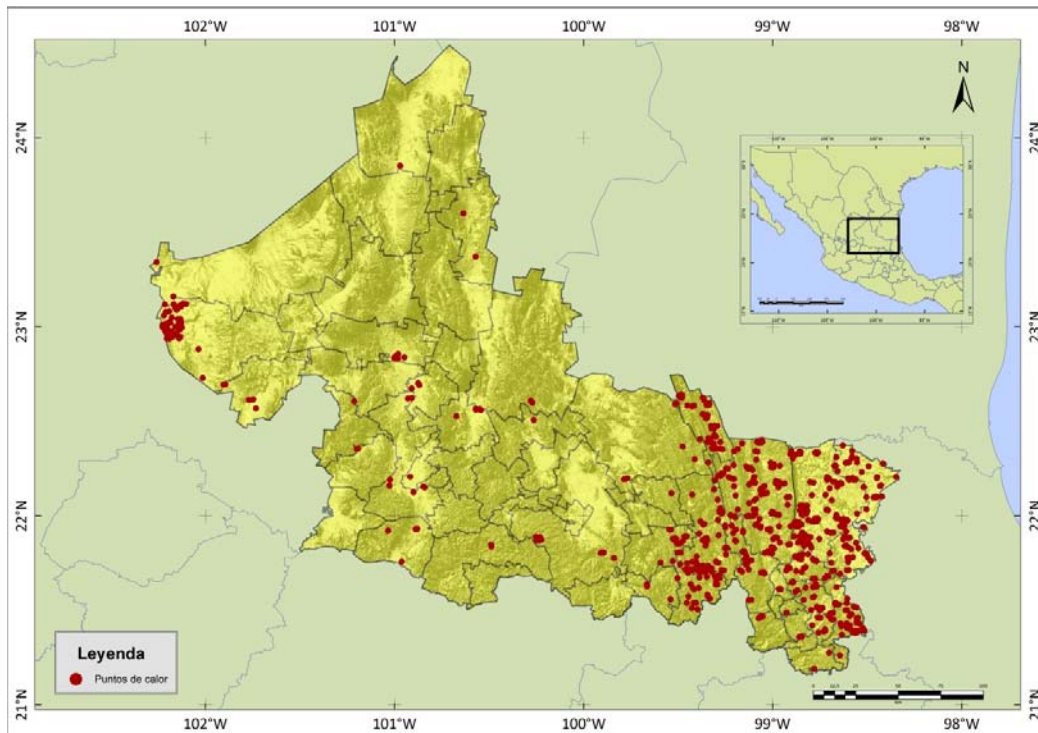
**Figura 57. Puntos de calor para el año 2002 en San Luis Potosí.** Fuente: elaborado con base en datos de NASA LANCE-FIRMS, 2014.



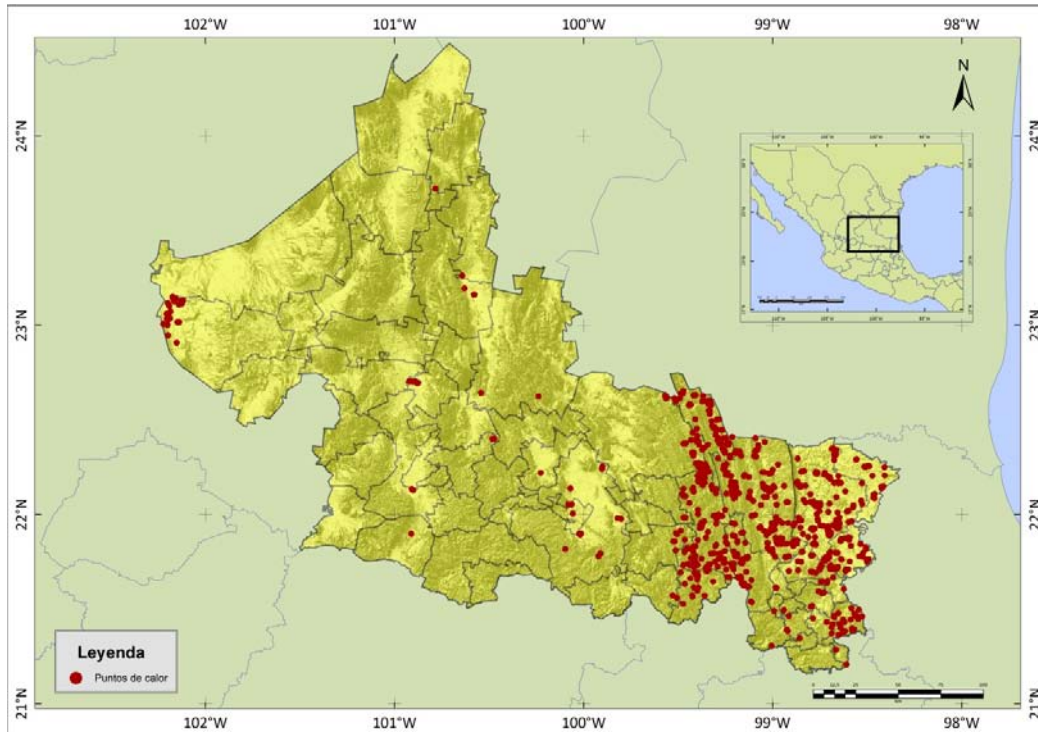
**Figura 58. Puntos de calor para el año 2003 en San Luis Potosí.** Fuente: elaborado con base en datos de NASA LANCE-FIRMS, 2014.



**Figura 59. Puntos de calor para el año 2004 en San Luis Potosí.** Fuente: elaborado con base en datos de NASA LANCE-FIRMS, 2014.



**Figura 60. Puntos de calor para el año 2005 en San Luis Potosí.** Fuente: elaborado con base en datos de NASA LANCE-FIRMS, 2014.



**Figura 61. Puntos de calor para el año 2006 en San Luis Potosí.** Fuente: elaborado con base en datos de NASA LANCE-FIRMS, 2014.



Nuevamente, para los años 2007 y 2008 se observó un comportamiento contrario, pero ahora el primer año mostró una disminución y el segundo un aumento en los puntos de calor. Así, 2007 registró 359 P. C. desde el siete de enero hasta el 31 de diciembre, y 2008, 691, del cuatro de enero al 26 de diciembre. En estos años los puntos de calor se concentraron en diferentes meses. Abril, mayo y junio para 2007, y marzo, abril y mayo para 2008 (Figuras 62 y 63).

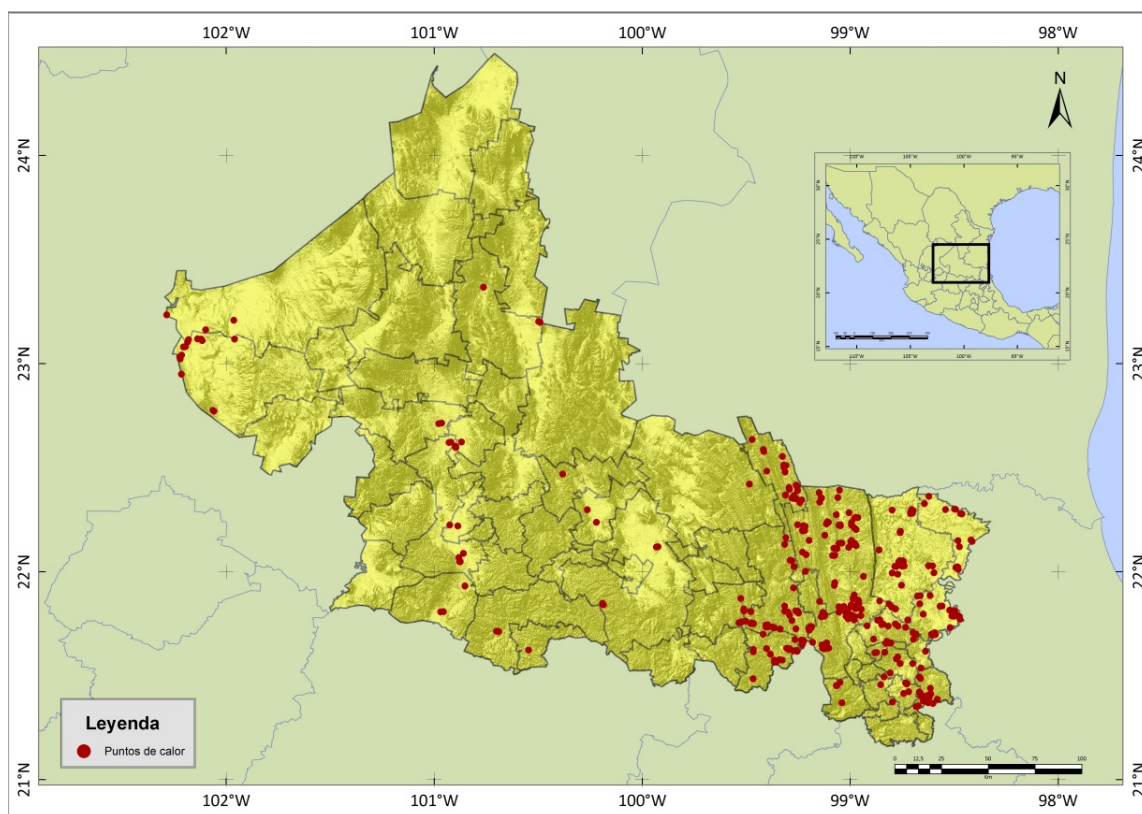
Por otro lado, el año 2009 se encuentra entre los tres primeros años que registraron un mayor número de puntos de calor después del año 2011 y 2013. Este año presentó 736 fuentes de ignición desde el dos de enero, hasta el 27 de diciembre. Así como en los años anteriores, la concentración de puntos de calor también se observó en los meses de marzo, abril, mayo y además, junio y diciembre (Figuras 64).

En el año 2010 y 2011 la presencia de fuentes de ignición difirió bastante. Durante 2010 los puntos de calor descendieron a 479, mientras que en 2011 se registraron 1,398; este año ocupó el primer lugar en mayor número de puntos de calor identificados por MODIS. El periodo que mayor número de P. C. registró fue de marzo a junio. Marzo con 163 puntos de calor, abril con 554, mayo con 280 y junio con 124 (Figuras 65 y 66).

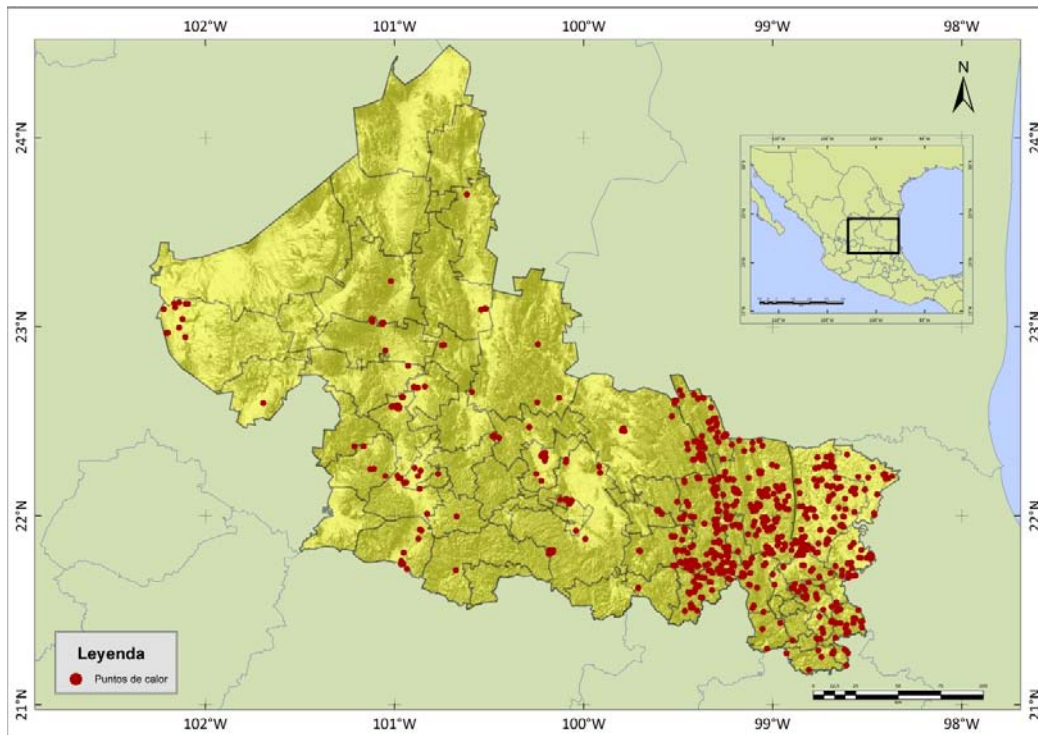
Los dos últimos años analizados fueron 2012 y 2013. Para 2012 el número de fuentes de ignición fueron 517 desde el cuatro de enero, hasta el veintiocho de diciembre, mostrando una concentración de P. C. en los meses de marzo, abril, mayo, junio y diciembre. Finalmente, durante el año 2013 se volvió a observar un incremento, ocupando el segundo lugar en registrar mayor número de P.C. La cifra de este año superó a la 2012 y ascendió a los 821 eventos, y los meses con mayor concentración fueron marzo, abril y mayo (Figuras 67 y 68).

A manera de resumen, se observa que los puntos de calor se concentran en los meses marzo, abril, mayo y junio, y eventualmente en diciembre, como en los años 2010 y 2012. Asimismo, de los años que presentaron mayor número de puntos de calor, sólo 2011 y 2009 correspondieron con el mayor número de incendios forestales en el estado. Por otro lado, la distribución espacial de cada

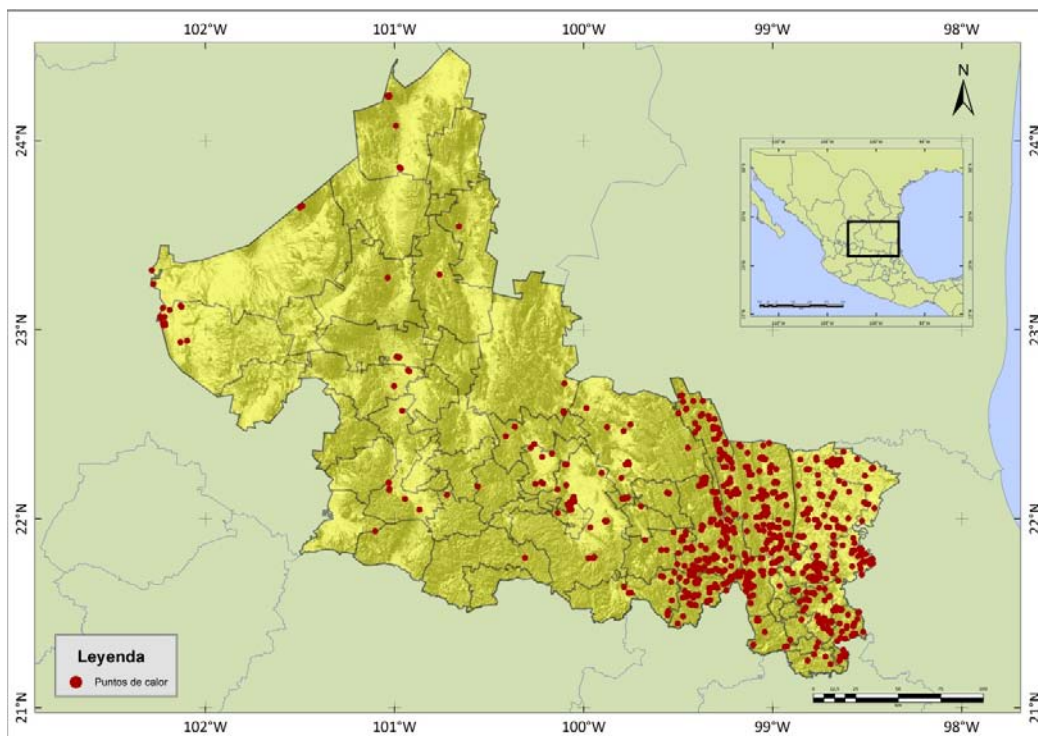
año se concentra en la zona de la huasteca confirmando que El fenómeno de El Niño y sus efectos no determina directamente la incidencia de incendios forestales en el estado de San Luis Potosí.



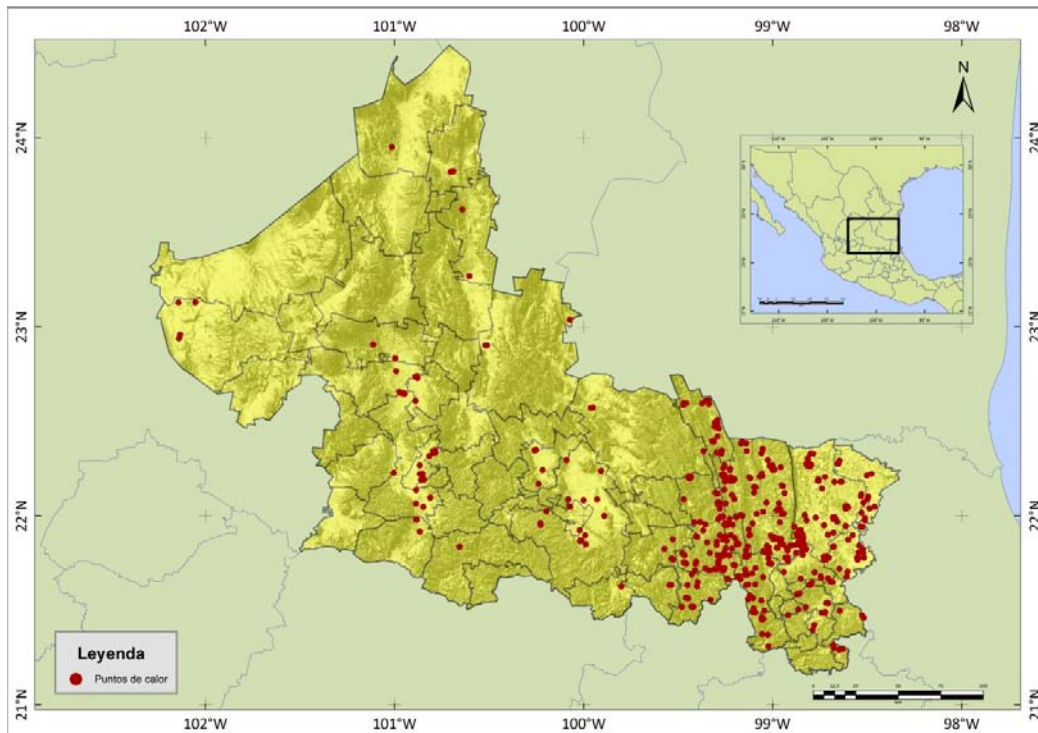
**Figura 62. Puntos de calor para el año 2007 en San Luis Potosí.** Fuente: elaborado con base en datos de NASA LANCE-FIRMS, 2014.



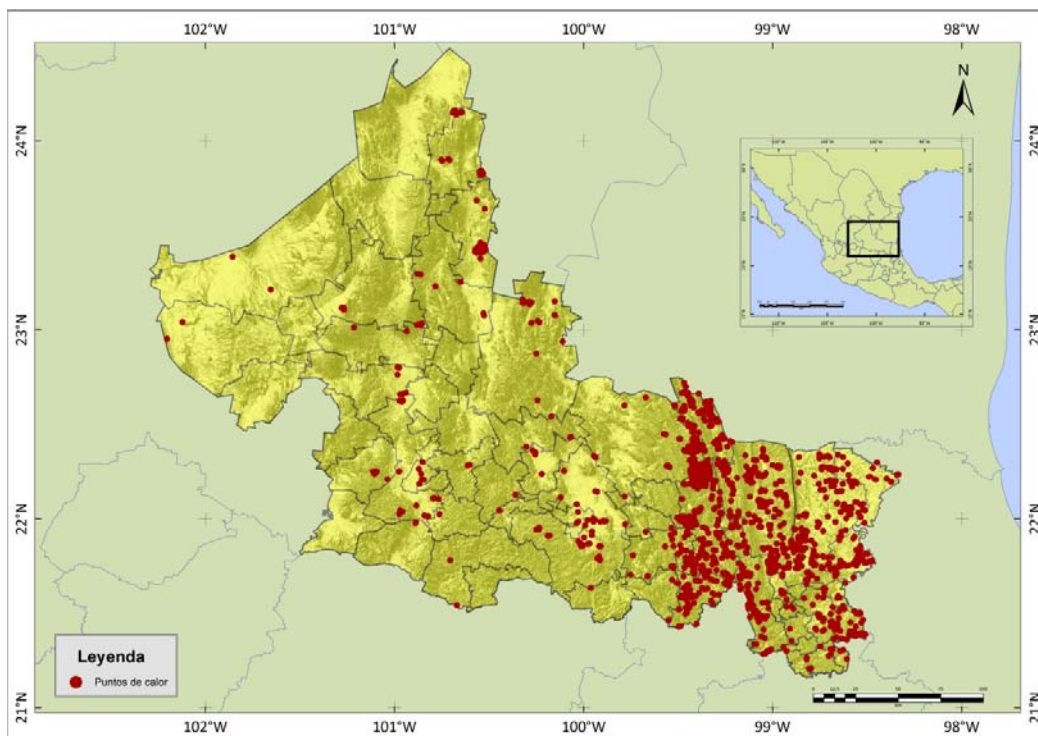
**Figura 63. Puntos de calor para el año 2008 en San Luis Potosí.** Fuente: elaborado con base en datos de NASA LANCE-FIRMS, 2014.



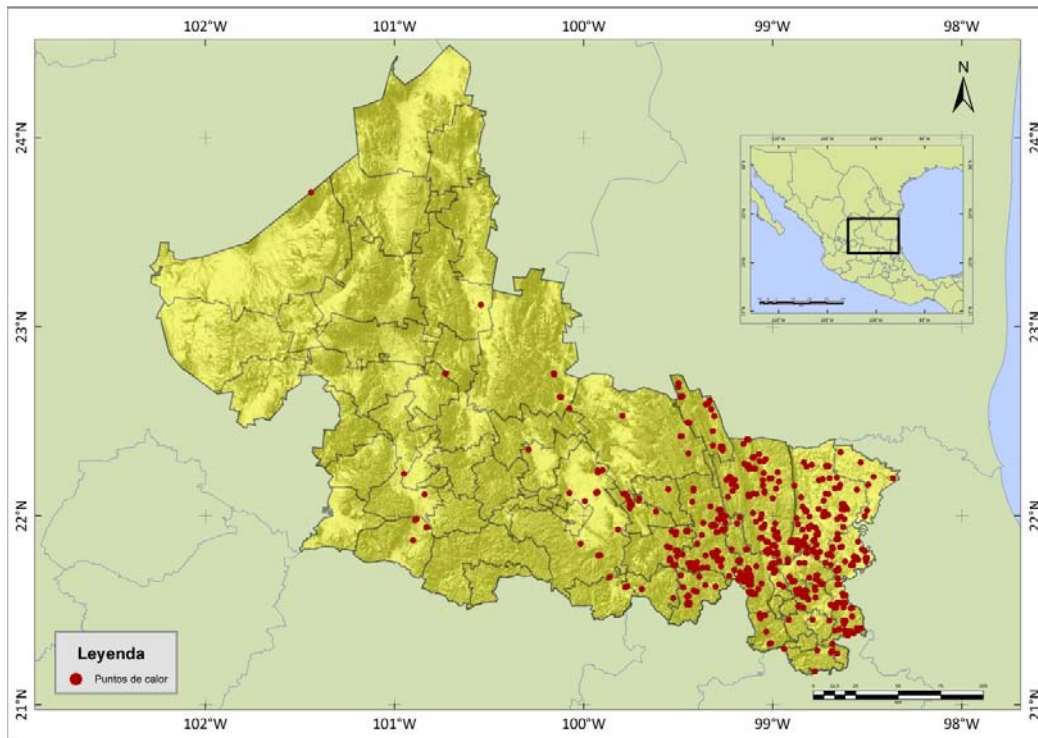
**Figura 64. Puntos de calor para el año 2009 en San Luis Potosí.** Fuente: elaborado con base en datos de NASA LANCE-FIRMS, 2014.



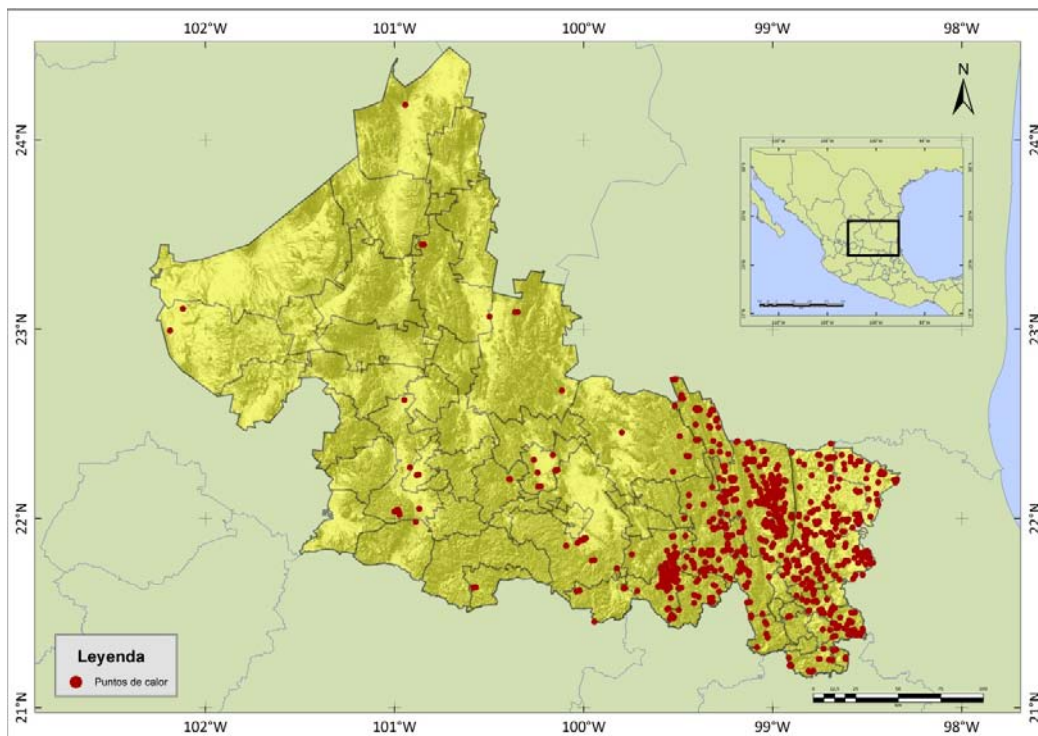
**Figura 65. Puntos de calor para el año 2010 en San Luis Potosí.** Fuente: elaborado con base en datos de NASA LANCE-FIRMS, 2014.



**Figura 66. Puntos de calor para el año 2011 en San Luis Potosí.** Fuente: elaborado con base en datos de NASA LANCE-FIRMS, 2014.



**Figura 67. Puntos de calor para el año 2012 en San Luis Potosí.** Fuente: elaborado con base en datos de NASA LANCE-FIRMS, 2014.



**Figura 68. Puntos de calor para el año 2013 en San Luis Potosí.** Fuente: elaborado con base en datos de NASA LANCE-FIRMS, 2014.

### 3.4. Relación sequía–ENOS, SPI e incendios forestales en San Luis Potosí

En este apartado de la investigación, se analizó el Índice de Precipitación Estandarizado (SPI) para el periodo comprendido entre 1995-2013. Las gráficas mostraron un comportamiento que difiere de la distribución anual de los incendios forestales (Figura 69). Se identificó que los veranos El Niño no corresponden a un déficit de la precipitación en San Luis Potosí como Magaña *et al.* (2004) lo había definido para México, mientras que los inviernos en los que se presenta el fenómeno, se observa un comportamiento simétricamente opuesto, es decir, un exceso de lluvias. Asimismo, durante los veranos La Niña las lluvias en la mayor parte de México son cercanas a lo normal, pudiendo incluso ser anómalamente intensas, no obstante, durante los inviernos se observa un déficit de precipitación (Magaña *et al.*, 2004).

La escala temporal que se utilizó para este análisis fue el SPI a 12 meses porque refleja los patrones de precipitación a largo plazo, usualmente relacionado a caudales de ríos y niveles de almacenamiento de presas (Méndez, 2010) a diferencia de las otras escalas.

Así, durante el año 1995 se identificaron a los dos fenómenos: El Niño y La Niña. El primero se observó durante los meses de enero, febrero y marzo y, el segundo, en los meses de septiembre, octubre, noviembre y diciembre. Los efectos de El Niño para el invierno en nuestro país, como ya se mencionó antes, son lluvias, mientras que La Niña en invierno presenta periodos de sequía. La gráfica del SPI para este año si responde a esta climatología local, es decir, se presenta un periodo de exceso de lluvia, seguido por un periodo de déficit (Figura 69 a).

Del mismo modo, el año 1996 parecería responder a la climatología del fenómeno de La Niña que continuó hasta los primeros meses de este año (NOAA, 2014), pues muestra un déficit de precipitación durante enero, febrero, marzo y abril respondiendo al periodo de sequía que establece este fenómeno; no obstante, durante mayo y junio se registró un exceso de precipitación e inmediatamente en julio un déficit hasta el mes de diciembre que no se basa en

alguno de estos fenómenos, puesto que el resto del año ninguno se hizo presente (Figura 69 b).

En los años 1997 y 1998 se registró un episodio El Niño a partir de mayo de 1997 a mayo de 1998 (NOAA, 2014). Lo que se traduce en un verano seco y un invierno húmedo. Sin embargo, la gráfica del año 1997 para San Luis Potosí muestra un comportamiento absolutamente opuesto (Figura 69 c). De igual manera, en la gráfica de 1998 para el primer trimestre del año se observa un comportamiento totalmente diferente, pues se trata de un invierno seco (Figura 69 d).

En lo que restó del año 1998 la NOAA (2014) registró los meses julio, agosto, septiembre, octubre, noviembre y diciembre como evento La Niña. Incluso, los efectos de este fenómeno se observaron hasta el mes de marzo del año 2001. En suma, este evento tuvo una duración de 33 meses y con base en la NOAA (2014) es el segundo evento La Niña más extenso desde el año 1973. La condición que indujo este fenómeno para el tercer trimestre del año 1998 fue un exceso de precipitación, pues se trata de un verano La Niña. Al observar la gráfica, es evidente que existió un considerable déficit y no un exceso ya que se aleja por mucho de las condiciones pronosticadas y del promedio histórico acorde con Núñez *et al.* (2005).

Para el último trimestre del año 1998 y el primero del año 1999 se pronosticaba un invierno seco. En sus respectivas gráficas este comportamiento se puede apreciar claramente, pues existe un importante déficit de la precipitación (Figura 69 d y Figura 69 e). Adicionalmente, durante los meses restantes de 1999 y hasta el primer trimestre del año 2001, los efectos del fenómeno de La Niña se siguieron observando (como ya se ha indicado). Ante tal escenario, se esperaba un verano húmedo y un invierno seco para cada año, 1999 y 2000, y, finalmente, también un invierno seco para los primeros meses del 2001. La gráfica de 1999 presenta perfectamente este comportamiento (verano húmedo e invierno seco) (Tabla 2 e), sin embargo, la del año 2000 no expone el exceso de precipitación previsto, pero, sí el déficit que se observó durante todo el año y alcanzó valores por arriba de -2.5 del SPI en el mes de septiembre (Figura 69 f). En el caso de la

gráfica del año 2001 el déficit es perceptible en su primer trimestre, ratificando el comportamiento pronosticado, a diferencia de los meses consecutivos que muestran un exceso de precipitación pero éste no se asocia al fenómeno de El Niño ni al de La Niña (Figura 69 g).

Por otro lado, durante el año 2002 y 2003 se presentó un evento El Niño como ya se había descrito en apartados anteriores (Capítulo 3, inciso 3.1). El evento se manifestó a partir del segundo trimestre del 2002 y hasta el primer trimestre del año 2003. Se trató de un evento con un verano seco y un invierno lluvioso, no obstante, el verano durante el año 2002 presentó un comportamiento positivo de la precipitación, es decir, un exceso que continuó todo el año por arriba del promedio histórico (Figura 69 h y Figura 69 i).

El evento El Niño 2004-2005 se reportó de julio del 2004 a enero de 2005 (NOAA, 2014) y en el cuarto trimestre de éste último año, también se presentó un evento La Niña. Las características esperadas para este episodio El Niño fueron un verano seco y un invierno lluvioso; sin embargo, la gráfica del SPI para este año no muestra esa condición para el verano, incluso muestra un exceso de lluvia (Figura 69 j), como en el evento de El Niño de 2002-2003.

Por otra parte, los efectos esperados de La Niña a finales de 2005 si se ven representados en la Figura 69 k, pues se trató de un invierno seco y la gráfica muestra exactamente eso, déficit de la precipitación desde el mes de julio hasta el mes de diciembre. Además, cabe destacar que los efectos de este fenómeno pudieron ser identificados hasta el primer trimestre del año 2006, la gráfica correspondiente también muestra este déficit de precipitación (Figura 69 l).

A finales del año 2006 y hasta el mes de enero de 2007, se identificó otro evento El Niño (NOAA, 2014). Lo que significa, que los efectos pronosticados correspondieron a un invierno lluvioso. Las respectivas gráficas muestran este exceso de precipitación desde el mes de septiembre del año 2006 (Figura 69 m) y durante todo el 2007 (Figura 69 n). Si bien, los primeros meses del año 2007 estuvieron influenciados por este fenómeno, en los meses sucesivos no se observó ninguna anomalía del ENOS (El Niño-Oscilación del Sur) hasta el mes de agosto que se registró un episodio de La Niña que continuó inclusive hasta junio



del año 2008 (NOAA, 2014). La gráfica del año 2007 presenta un exceso de precipitación que coincide con el verano lluvioso que define este fenómeno (Figura 69 m). No obstante, el inicio del invierno en este año y su continuidad en el año 2008 no corresponde con el déficit de precipitación que marca un invierno seco; por el contrario, se observa un exceso por arriba del promedio histórico como en el caso del episodio El Niño 2002-2003 (Figura 69 n).

Otro evento La Niña también se presentó a finales del año 2008, pero con menor duración, pues se registró del mes de diciembre al mes de marzo de 2009. Como ya se había especificado, los inviernos La Niña se caracterizan por ser secos, es decir, presentar un déficit de precipitación. En las gráficas de estos años se puede observar un ligero déficit de precipitación con valores cercanos a -0.1 del SPI (Figura 69 n y Figura 69 o).

Posteriormente, en el mes de julio de 2009 se registró un nuevo evento El Niño que tuvo su conclusión en el mes de abril del año 2010. Significa entonces que se trató de un verano seco y un invierno húmedo. La respectiva gráfica muestra exactamente este escenario, un verano que oscila entre -0.35 y -1.62 del SPI y un invierno que registró valores por arriba de 1.20 (Figura 69 o y Figura 69 p).

A partir del mes de julio del año 2010 se identificaron a los dos últimos eventos del ENOS como Magaña (2004) y Avaria (2004) describieron a este ciclo que consiste en una oscilación entre una fase cálida (El Niño) y una fase fría (La Niña). Los episodios registrados correspondieron a dos eventos La Niña, el primero fue de julio de 2010 a abril del año 2011 y el segundo de septiembre de 2011 a febrero de 2012.

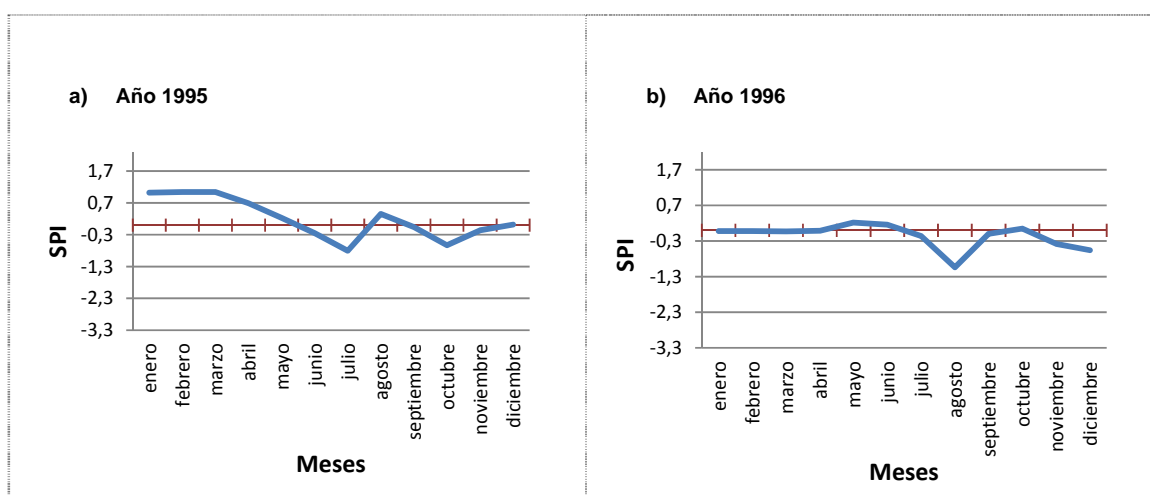
El escenario que se esperaba para el primer episodio La Niña era un verano lluvioso y un invierno seco. En los meses correspondientes al verano se observó esta característica; sin embargo, en el invierno el exceso de humedad continuó hasta abril del siguiente año como se puede observar en la gráfica (Figura 69 p y Figura 69 q).

En el segundo y último fenómeno La Niña de los últimos años, se esperaba un invierno seco, la respectiva gráfica si muestra este comportamiento, incluso

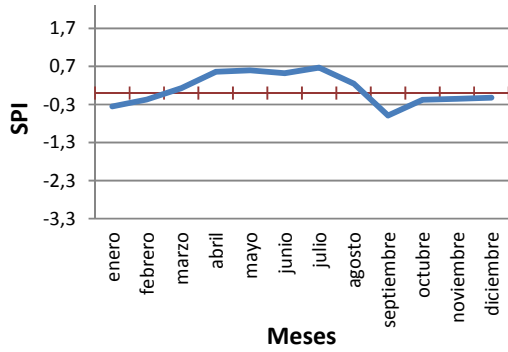
muestra un déficit de precipitación en todo el año. Los valores registrados se ubicaron por debajo de -1.30 del SPI (Figura 69 q y Figura 69 r).

De acuerdo con la base de datos de la NOAA (2014), después del mes de febrero del año 2012 no se ha identificado ninguna anomalía del ENOS en los últimos años y el déficit de precipitación que muestra la gráfica de año 2013 no corresponde a estos eventos, a pesar de ser un déficit considerable ya que oscila por arriba de -2.5 del SPI (Figura 69 s).

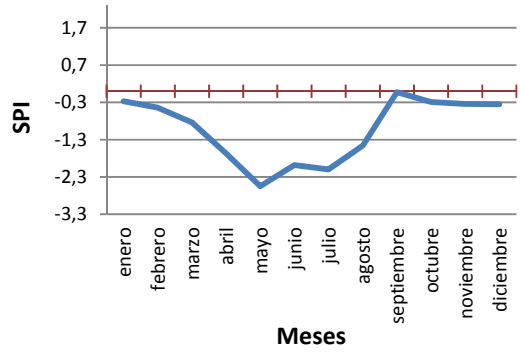
Bajo este análisis, se puede observar que sólo algunos eventos El Niño y La Niña corresponden al déficit o exceso de precipitación que el SPI presenta específicamente para cada año dadas las condiciones que cada fenómeno genera de acuerdo con la estación del año.



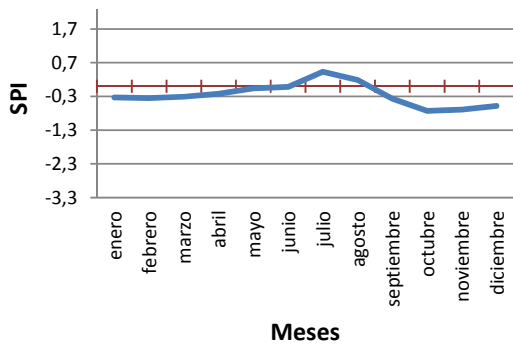
c) Año 1997



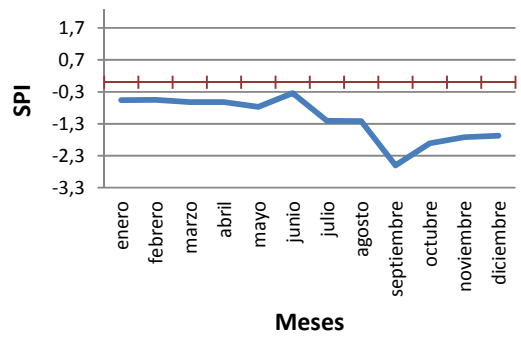
d) Año 1998



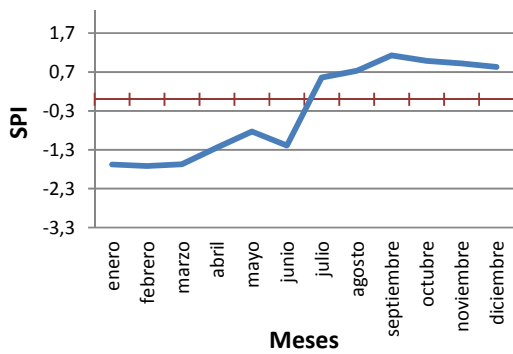
e) Año 1999



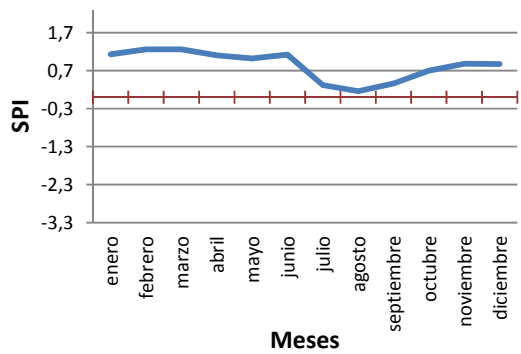
f) Año 2000



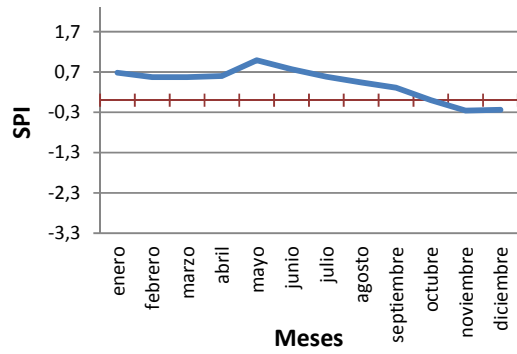
g) Año 2001



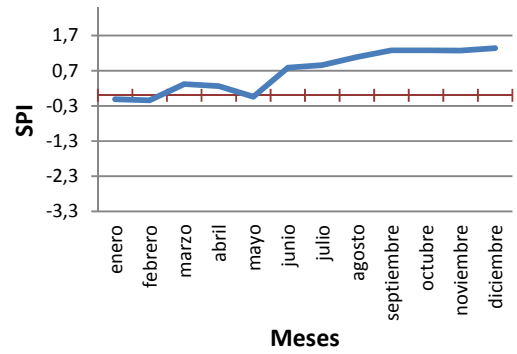
h) Año 2002



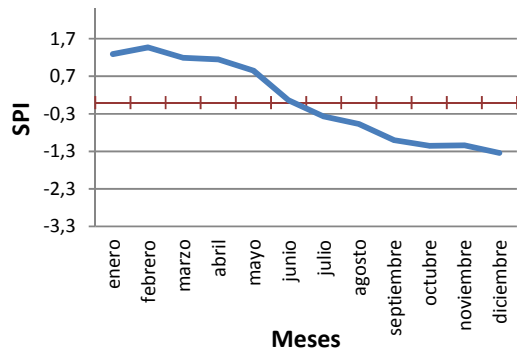
i) Año 2003



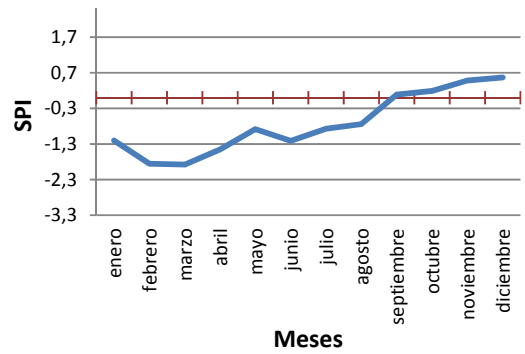
j) Año 2004



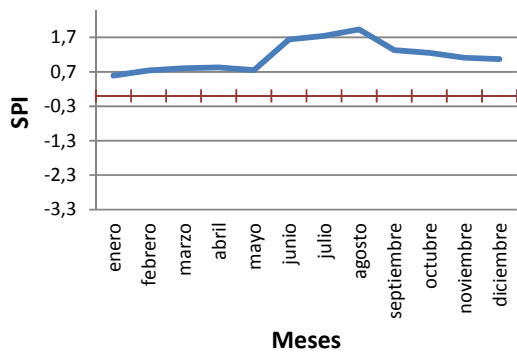
k) Año 2005



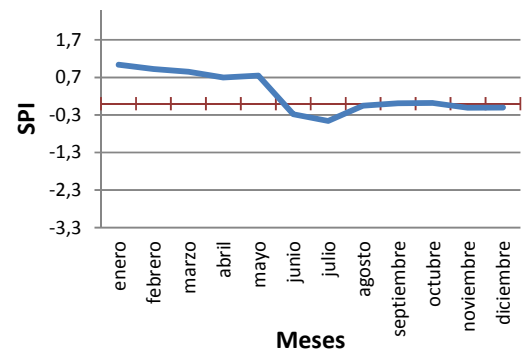
l) Año 2006

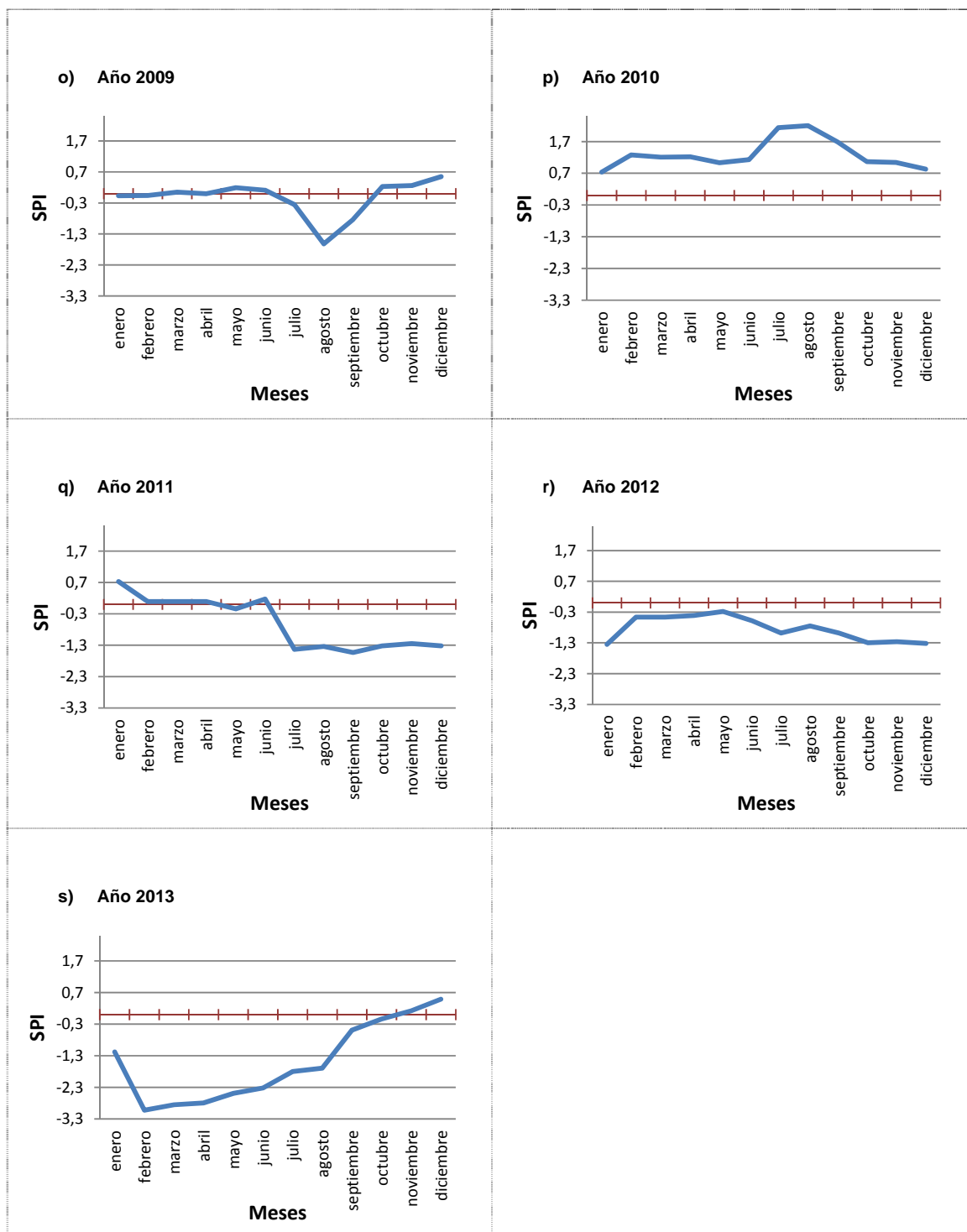


m) Año 2007



n) Año 2008





**Figura 69. SPI a 12 meses para el estado de San Luis Potosí entre 1995-2013.** Estación: San Luis Potosí (OBS): a) Año 1995, b) Año 1996, c) Año 1997, d) Año 1998, e) Año 1999, f) Año 2000, g) Año 2001, h) Año 2002, i) Año 2003, j) Año 2004, k) Año 2005, l) Año 2006, m) Año 2007, n) Año 2008, o) Año 2009, p) Año 2010, q) Año 2011, r) Año 2012, s) Año 2013. Fuente: elaborado con base en información de la NASA-North American Drought Monitor, 2014.

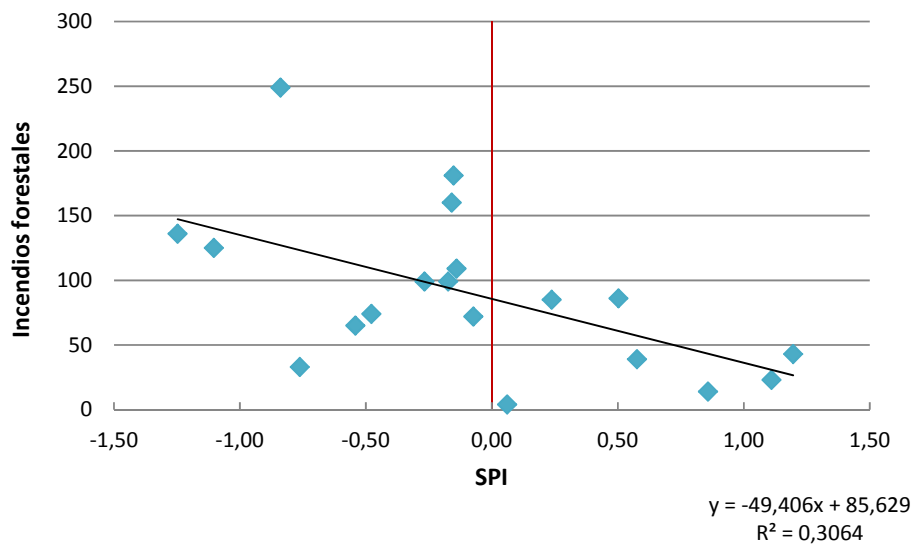
Si se consideran a algunos de los años con mayor número de incendios forestales en el estado y el SPI, no se observa una correspondencia entre estas variables. Por ejemplo, en el evento La Niña de 2007-2008 no se observaron los efectos esperados por este fenómeno, por el contrario se identificó un exceso de precipitación (SPI) que no responde al número de incendios forestales en este año, dado que ocupa el tercer lugar con 160 incendios.

Otro ejemplo es el episodio La Niña 2010-2011, durante el verano sí se observan sus efectos en la gráfica del SPI, en cambio, en el invierno el déficit de precipitación fue desplazado por un exceso. Al igual que el año 2008, el año 2011 ocupó uno de los primeros lugares con 136 incendios forestales.

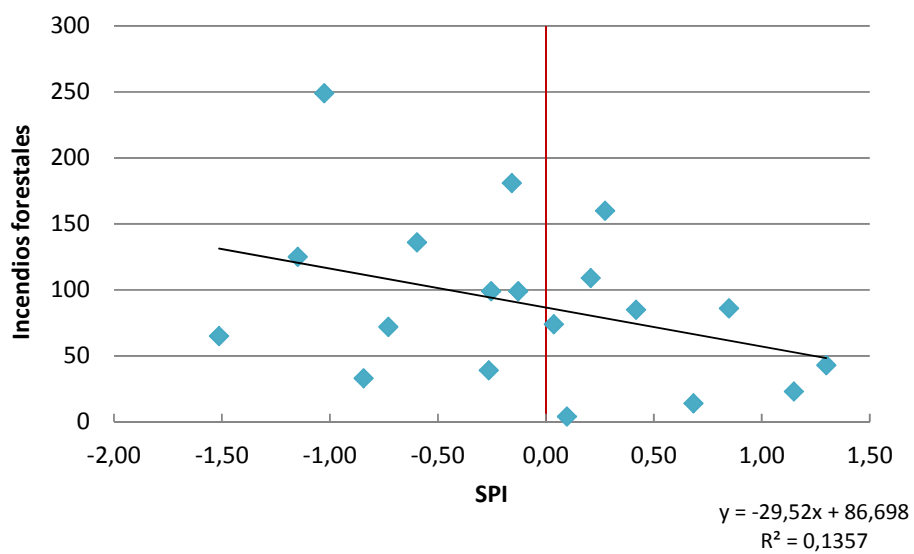
Para comprobar que no existe relación entre el SPI y la presencia de incendios forestales en San Luis Potosí, México, se hizo un análisis de regresión para tres periodos temporales del SPI: a 6, 12 y 24 meses. El periodo estudiado fue del año 1995 a 2013, sólo 19 años examinados debido a la disponibilidad de datos de los incendios forestales. La variable independiente es el Índice Estandarizado de Precipitación (SPI) y la variable dependiente en este caso son los incendios forestales.

Al analizar el comportamiento de las tres gráficas resultantes, las dos variables no se encuentran correlacionadas, pues no existe una coherencia entre el comportamiento del SPI y los incendios forestales, es decir existe una ausencia de correlación ya que un incremento en X no se relaciona con las puntuaciones de Y (cuando aumenta X, las puntuaciones de Y varían de forma aleatoria) (Ritchey, 2002).

El coeficiente de correlación ( $R^2$ ) en el análisis de SPI a 6 meses es de 0.3064 (Figura 70), mientras que el del SPI a 12 meses corresponde a 0.1357 (Figura 71) y a 24 meses es de 0.0018 (debido a que  $R^2$  presenta un valor muy bajo, su grafica no fue incluida). El primer periodo temporal muestra una correlación mayor y conforme aumenta la temporalidad, la correlación entre las dos variables disminuye considerablemente. Como se puede observar, ninguno de los tres coeficientes presenta una significativa correlación porque sus datos se encuentran muy desviados.



**Figura 70. Análisis de regresión del SPI a 6 meses y los incendios forestales en San Luis Potosí, México.** Fuente: elaborado con base en información de la NASA-North American Drought Monitor, 2014.



**Figura 71. Análisis de regresión del SPI a 12 meses y los incendios forestales en San Luis Potosí, México.** Fuente: elaborado con base en información de la NASA-North American Drought Monitor, 2014.

## Discusión y Conclusión

El déficit de precipitación y aumento de temperatura, efectos generados por el fenómeno de El Niño durante el verano y el fenómeno de La Niña en el invierno no influyeron directamente en los incendios forestales que se han presentado en el estado de San Luis Potosí. La correlación histórica entre los eventos El Niño, la sequía, y el incremento en el número de incendios forestales a nivel nacional, no se vio representada en el estado.

La investigación hemerográfica que se realizó para caracterizar la sequía meteorológica conforme a los reportes del Desinventar, en diversos periódicos de México y los padrones de beneficiarios del FAPRACC-PACC, no manifiesta indicios contundentes del fenómeno de sequía en San Luis Potosí durante el periodo 2000-2013.

Por un lado, el Desinventar reporta a 30 de las 32 entidades de México como estados afectados por la sequía, a excepción de los estados de San Luis Potosí y Chiapas, que no figuraron como estados siniestrados. Las observaciones de causa que reportan los diarios (La Jornada y El Universal. En Desinventar, 2014) por la presencia de la sequía fueron dos, el déficit de precipitación y el aumento de la temperatura, además de la presencia del fenómeno de El Niño, pero sólo durante el año 2002 y en los estados de Baja California, Baja California Sur, Chihuahua, Coahuila, Durango, Hidalgo, Nayarit, Nuevo León, Puebla, Sinaloa, Sonora, Tamaulipas y Zacatecas (Desinventar, 2014).

Por otro lado, el FAPRACC (2014) presentó a San Luis Potosí como estado captador de recursos por las sequías de los años 2005 (Folio 278 y 294) y 2009 (Folio 300306), pero para una sequía atípica impredecible y no recurrente (PACC, 2014).

En cuanto al análisis de la producción agrícola del estado, este tampoco mostró alguna correlación con los periodos de sequía o déficit de precipitación durante veranos El Niño e inviernos La Niña; este estudio se realizó por año agrícola, el cual incluyó los periodos primavera-verano y otoño-invierno en la modalidad riego-temporal. Para descartar que la producción con base en riego



tuviera un peso considerable en la producción anual, se analizó por separado la producción por temporal, pero este estudio tampoco mostró correlación alguna con el SPI. Sin embargo, el análisis de la producción por temporal presentó un mayor coeficiente de correlación que la de riego, pero no el suficiente para poder afirmar que entre estas variables existiera una correspondencia.

Bajo este análisis, se pudo confirmar que los municipios de San Luis Potosí apoyados por el FAPRAC (2014, ahora denominado PACC) durante la sequía no correspondieron a aquéllos que presentaron mayor superficie sembrada siniestrada (SIAP), ni mayor número de incendios forestales (CONAFOR).

Los municipios beneficiados por el FAPRACC (2014) durante el año 2005 fueron Ahualulco, Cedral, Cerritos, Charcas, Ciudad del Maíz, Matehuala, San Nicolás Tolentino, Tierra Nueva, Vanegas, Villa de Hidalgo, Lagunillas, Soledad de Graciano Sánchez y Cerro San Pedro; en tanto, que el único municipio apoyado por la sequía atípica del año 2009 fue Guadalcázar.

Asimismo, durante el periodo 2003-2013 se pudieron identificar a través del SIAP (2014) a los municipios mayormente sembrados así como aquéllos que presentaron la mayor superficie sembrada siniestrada. Entre los municipios con mayor superficie sembrada se encontraron Villa de Ramos, Ébano, Santo Domingo, Salinas y Villa de Arriaga; mientras que los municipios que reportaron mayor superficie siniestrada fueron Villa Arriaga, Matehuala, Cedral, Villa de Ramos y Ébano; es decir, sólo tres de los municipios que tienen mayor superficie sembrada coinciden con aquéllos que tienen mayor superficie siniestrada en el estado.

Finalmente, los informes históricos de la CONAFOR (2013a) indican que los municipios que reportaron un mayor número de incendios forestales y mayor superficie siniestrada en este periodo analizado fueron Ciudad Valles, El Naranjo, Tamasopo, Rioverde; y Ciudad del Maíz, el cual fue el único municipio apoyado por el PACC (2014) por la sequía que se presentó durante los meses de mayo, junio, agosto, octubre y diciembre del año 2005.

Por tanto, los municipios beneficiados por el PACC (2014) corresponden en su mayoría a la zona del Altiplano, seguida por la región Centro. Asimismo, los

municipios con mayor superficie sembrada siniestrada (SIAP, 2014) se ubican también en su mayoría en la zona del Altiplano, es decir, en la zona más árida (Región del Altiplano y Centro) que corresponde al 71% de la superficie del estado donde predomina el matorral desértico micrófilo y el rosetófilo (INEGI, 2014) y, que podría ubicarse como la zona con las condiciones propicias para que incidan fuegos forestales. Sin embargo, el mayor número de incendios se localiza en la Región Huasteca, cuyas características son un clima húmedo y templado húmedo (INEGI, 2014), así como una vegetación donde predominan los pastizales y, en menor medida, las selvas caducifolia-subcaducifolia y perennifolia-subperennifolia y el bosque de latifoliadas (IG-Semarnat, 2001).

De igual manera, el análisis de los puntos de calor de la NASA-FIRMS muestra que la región de la Huasteca tuvo un número considerable de fuentes de emisión, corroborando que el sureste de San Luis Potosí tiene una alta densidad de incendios forestales.

Revisando la climatología del año 2013, uno de los años que mayor número de incendios presentó, se identificó que la climatología a nivel nacional difiere de la estatal. El año 2013 fue considerado como un año anormalmente húmedo a escala nacional, pues finalizó como el cuarto más lluvioso desde 1941, comportamiento contrario a los años anteriores, 2012 y 2011 (Albanil et al., 2013).

Si bien, durante este año el 47% del país resultó con anomalías positivas, 35% muy cercano a la normal (entre 85% y más) y solamente el 18% resultó con déficit de lluvias (menores al 85% de la normal), el exceso de lluvia ocurrió en los últimos cuatro meses (septiembre, octubre, noviembre y diciembre) para muchas regiones hidrológicas (Albanil et al., 2013).

No obstante, el comportamiento del SPI en el estado de San Luis Potosí mostró un constante y considerable déficit de la precipitación desde el mes de enero hasta el mes de noviembre. Además, de los 19 años analizados, el 2013 presentó en promedio el mayor déficit de precipitación (-2.01), el cual no estuvo influenciado por el fenómeno de El Niño y mucho menos por el fenómeno de La Niña, pues ninguno se hizo presente en ese año.

Así, el análisis del SPI para este periodo (1995-2013) no mostró correlación

con los incendios presentes en el estado, y los periodos de déficit y exceso de precipitación no correspondieron con la presencia de los fenómenos de El Niño y La Niña.

En este periodo, prevalecieron seis años que presentaron un déficit o exceso de precipitación constante durante todo el año. El déficit fue observado durante los años 1998, 2000 y 2012. En San Luis Potosí los dos primeros años se caracterizaron por presentar un número importante de incendios forestales (249 y 125, correspondientemente). Por otro lado, 2012 destacó por ser el segundo año más cálido a nivel nacional desde 1971 (Albanil et al., 2012). Esta condición no influyó directamente en la presencia de incendios en el estado, pues en ese año sólo se tuvieron registrados 33 eventos.

El persistente exceso de precipitación fue registrado en los años 2002, 2007 y 2010. La climatología a nivel estatal correspondió con la nacional en los tres años, y sólo el año 2002 mostró un número considerable de incendios tanto a escala nacional como estatal. A escala nacional, la cifra ocupó el 11º lugar y en escala estatal el 9º.

Finalmente, la investigación expuso que durante el tercer y cuarto trimestre de cada año el déficit de precipitación fue más recurrente, mientras que en el segundo trimestre (abril, mayo y junio) se observó un exceso, descartando que los incendios forestales que se han presentado en estos meses tengan relación directa con la climatología estatal y confirmando que no existe una correlación entre el ENOS y el fuego forestal en San Luis Potosí.

De esta forma, la hipótesis que fue planteada para esta investigación resultó negativa, debido a que el déficit de la precipitación y aumento de la temperatura no influyeron en el desarrollo de los incendios como ya se ha mencionado. La actividad antropogénica fue relevante para el incremento de estos eventos. La información hemerográfica corroboró que las causas que generan los incendios fueron de esta índole. De acuerdo con la FAO (2009), el aumento de la población genera un riesgo más alto de incendios forestales debido a la demanda de tierras y otros recursos naturales; asimismo, un gran número de estos incendios son provocados por el ser humano, ya sea por negligencia, intereses

económicos, mal manejo del fuego e incendios intencionados.

En México se estimó que entre 1998 y 2005; 99% de los incendios tuvieron como origen una causa antropogénica, principalmente las actividades agropecuarias y los incendios intencionales (asociados a conflictos agrarios y actividades ilegales), y sólo 1% fueron generados por fenómenos naturales como las descargas eléctricas (Estrada, 2006). En el tercer mes del año 2013, el titular de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) Juan José Guerra Abud en conferencia de prensa confirmó esta información y explicó que sólo 3% de los incendios forestales que ocurren en el país se originan por causas naturales, ya que el 97 por ciento restante es producto de causas humanas, siendo el 36% de ellas ocasionadas por la quema de pastizales, arbolado y arbustos principalmente (Reforma, 2013).

Durante los primeros tres meses de ese año, el país registró una intensa actividad de incendios forestales, situación que no se observaba desde 1998 y, de acuerdo con los datos de la CONAFOR, entre el primero de enero y el 21 de marzo se reportaron casi tres mil siniestros que afectaron una superficie de 47,503 hectáreas, principalmente de arbustos y matorrales (Reforma, 2013). Para el caso de San Luis Potosí, el total de incendios que se reportaron fueron 65, el 0.62% del total de eventos en el país, a pesar de que la información respecto de estos eventos mostraban un escenario catastrófico.

Entre las actividades agropecuarias a las que se refirió Juan José Guerra Abud se encuentran la quema de pastizales y la práctica agrícola de “roza, tumba y quema”. Este manejo del fuego es una serie de intervenciones planificadas dirigidas al mantenimiento o restauración del régimen del fuego dentro de la amplitud o rango de su variación histórica en frecuencia, severidad y tamaño. Utilizar el fuego como herramienta contribuye al manejo forestal, pues permite controlar la estructura y composición de la vegetación y los combustibles, además de conservar la biodiversidad, el manejo de agostaderos o la agricultura (CONAFOR, 2014a; Jardel, 2010), así como contribuir al manejo forestal para prevenir o mitigar los impactos ambientales negativos de los incendios forestales (Jardel, 2010).

El manejo del fuego integra tres componentes: prevención, supresión y uso del fuego con los atributos ecológicos clave del fuego, es decir, el régimen de fuego ecológicamente adecuado y las necesidades socioeconómicas y culturales de uso del fuego junto con los impactos negativos que éste puede tener sobre la sociedad CONAFOR (2014).

De acuerdo con el CENAPRED (2008), no todas las actividades antropogénicas relacionadas con ocurrencia de incendios forestales se pueden modificar mediante la aplicación de programas educativos y recomendaciones ingenieriles. De ahí la necesidad de difundir la legislación aplicable en la materia, tanto en manera de prevención como de sanciones o acciones coercitivas para castigar la indisciplina o la negligencia.

Por tanto, en México, a partir del año 2001 se empezó a impulsar el manejo del fuego con *The Nature Conservancy* (TNC) (CONAFOR, 2014). El 25 de febrero del año 2003 se publicó en el Diario Oficial de la Federación la “Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable” vigente en materia de protección contra incendios forestales. Son de relevancia sus artículos 22, 23, 24 y 25 del Título quinto de las medidas de conservación forestal (Capítulo III, “De la prevención, combate y control de incendios forestales”), así como en los artículos 139 (Capítulo I, “De los instrumentos económicos del fomento forestal”) y 148 (Capítulo IV, “De la cultura, educación y capacitación forestales”) del Título sexto del fomento al desarrollo forestal”, y los artículos 163 (Capítulo V, “De las infracciones”) y 165 (Capítulo VI, “De las Sanciones”) del Título octavo de los medios de control, vigilancia y sanción forestales. Asimismo, los artículos 159, 160, 161, 162, 163 y 164 del Título cuarto de las medidas de conservación forestal (Capítulo IV de la prevención, combate y control de incendios forestales) del Reglamento de la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable, publicado en el Diario Oficial de la Federación el 21 de febrero de 2005 (CENAPRED, 2008).

Después, en el año 2007 se revisó y publicó la NOM-015 SEMARNAT SAGARPA, que establece las especificaciones técnicas de métodos de uso del fuego en los terrenos forestales y en los terrenos de uso agropecuario, y durante este mismo año, la CONAFOR inició el proceso para transitar de la supresión de

incendios forestales al manejo de fuego, el cual incluye la protección contra incendios forestales dañinos, el manejo de quemas prescritas benéficas y el manejo del fuego agropecuario (CONAFOR, 2014).

Las limitantes que presentó esta investigación radicaron en la heterogeneidad de las bases de datos, puesto que la disponibilidad de la información variaba mucho de dependencia a dependencia. Así, la base de datos del Desinventar comprendió el periodo 1970 a 2013, la del FAPRACC-PACC 2003 a 2011, la del SIAP 2003 a 2013, la de FIRMS-NASA de 2000 a 2013 y la de CONAFOR a nivel estatal de 1995 a 2013, mientras que la base de datos a nivel municipal fue del 2000 al 2009. A pesar de esta condición, la ausencia de información no representó un problema para alcanzar los objetivos de esta tesis, debido a que la información faltante se complementaba con el análisis de las otras variables.

Otra limitante fue la falta de datos del SPI para otras estaciones meteorológicas en el estado, pues para todo el territorio sólo se encontraba como estación confiable la estación del municipio de San Luis Potosí (San Luis Potosí (OBS)/Clave 24070), haciendo evidente una vez más la falta de información en México.

Por otro lado, los trabajos de investigación en México respecto al tema de los incendios forestales se han enfocado al estudio de los efectos del fuego en la vegetación, y en algunos estudios sobre el régimen de incendios y otros relacionados con la evaluación y caracterización de combustibles forestales. (Flores y Gómez, 2013).

Bajo este escenario, es necesario seguir trabajando sobre esta línea de investigación incluyendo variables climáticas que, acorde con Flores y Gómez (2013), poco se han trabajado y, de igual manera, se podría confirmar o descartar que la ocurrencia de los incendios forestales en otros estados mexicanos estén influenciados por los efectos del fenómeno de El Niño y La Niña y, asimismo, identificar qué otros fenómenos de la variabilidad climática determinan la incidencia de estos eventos, o si es la actividad antropogénica la que tiene un mayor peso de importancia, como en el caso del estado de San Luis Potosí.

## REFERENCIAS

- Aceituno, P. (1998) El fenómeno El Niño 1997-1998. Bulletin de l'Institut français d'études andines; 27. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=12627309>
- Aguado, I. y Camiá, A. (1998). Fundamentos y utilización de índices meteorológicos de peligro de incendio. Serie Geográfica, Vol. 7 1998: 49-58. ISSN: 1136-5277.
- Albanil, A., Pascual, R., Cruz, L. y López, M. (2012). Reporte del Clima en México. Reporte Anual 2012. CONAGUA-SMN. México.
- Albanil, A., Ramírez, R., López, M., Martínez, J. y Pascual, R. (2013). Reporte del Clima en México. Reporte Anual 2013. CONAGUA-SMN. México.
- Arnaldos, J., Navalón, X., Pastor, E., Planas, E. y Zárata, L. (2004). Manual de Ingeniería básica para la prevención y extinción de incendios forestales. Institut d'Edicions de la Diputació de Barcelona. Mundi-Prensa. España. 414 pp.
- Arntz, E. y Eberhard, F. (1996). El Niño: experimento climático de la naturaleza: causas físicas y efectos biológicos. Fondo de Cultura Económica, México. Traducción de: El Niño klimaexperiment der natur physikalische ursachen und biologisch folgen. 312 pp.
- Avaria, S., Carrasco, J., Rutllant, J. y Yáñez, E. (eds.) (2004). El Niño-La Niña 1997-2000. Sus Efectos en Chile. CONA, Chile, Valparaíso. 13-27 pp.
- Ávila, D., Pompa, M. y Vargas, E. (2010). Análisis espacial de la ocurrencia de incendios forestales en el estado de Durango. Revista Chapingo. Serie ciencias forestales y del ambiente, vol. 16, núm. 2, julio-diciembre. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal. Disponible en: <http://www.scielo.org.mx/pdf/rcscfa/v16n2/v16n2a14.pdf>
- Capel, J. (1999). El Niño y el sistema climático terrestre. Barcelona, España. Editorial Ariel. 154 pp.
- Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED, 2001). Diagnóstico de peligros e identificación de riesgos de desastres en México. Atlas Nacional de riesgos de la República Mexicana. Secretaría de Gobernación. México. 225pp.
- Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED, 2008). Incendios Forestales (3era Ed.) Secretaría de Gobernación. Serie Fascículos. México. 47pp.
- Chuvienco, E. y Martín, M. (Editores) (2004). Nuevas tecnologías para la estimación del riesgo de incendios forestales. Ministerio de Educación y Ciencia-Consejo Superior de Investigaciones. Madrid, España. 190 pp.
- Chuvienco, E., Salas, F. y Vega, C. (1997). Remote sensing and GIS for long-term fire risk mapping. En: Chuvienco, E. (Editor). A review of remote sensing methods for the study of large wildland fires. Megafires Project ENV-CT96-0256. Universidad de Alcalá, Alcalá de Henares. España.

- Comisión Nacional Forestal (CONAFOR, 2010). Incendios Forestales. Guía práctica para comunicadores (3era Ed.). México. 54 pp.
- Comisión Nacional Forestal (CONAFOR, 2013). Incendios forestales en México. Temporada 2013. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México. Disponible en: <http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/7/4339Campa%C3%B1a%20de%20contra%20incendios%202013.pdf>
- Comisión Nacional Forestal (CONAFOR, 2013a). Informes anuales-Estadística final (Histórico) de incendios forestales (1995-2013). México. Disponible en: <http://www.cnf.gob.mx:8080/snif/portal/las-demas/reportes-de-incendios-forestales>
- Comisión Nacional Forestal (CONAFOR, 2014). Conceptos básicos de incendios forestales. México. Disponible en: <http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/10/1076Conceptos%20b%C3%A1sicos%20-%20Incendios%20Forestales.pdf>
- Comisión Nacional Forestal-Gerencia Estatal (2014). Reportes de incendios forestales a nivel estatal, 2000-2009. San Luis Potosí, México.
- Comisión Nacional Forestal (CONAFOR, 2014a). Los centros regionales de manejo del fuego. México. Disponible en: [http://www.conafor.gob.mx/innovacion\\_forestal/?p=532](http://www.conafor.gob.mx/innovacion_forestal/?p=532)
- Comisión Nacional para América Latina y el Caribe (Cepal, s.f.). Guía para estimar la pobreza infantil. Disponible en: <http://dds.cepal.org/infancia/guia-para-estimar-la-pobreza-infantil/guia-contenido-442.php>
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO, 2014). Portal de Geoinformación. Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad. México. Disponible en: <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>
- Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad (CONABIO, 2014a). Sistema de alerta de incendios. México. Disponible en: <http://incendios1.conabio.gob.mx/>
- Dávila, M. (2005). Índices Predictivos del Riesgo de Incendios para La Cuenca Alta del Río Caroní. Tesis para optar al grado de Magíster Scientiae en Modelado y Simulación de Sistemas. Facultad de Ingeniería, Universidad de los Andes. Venezuela. 194 pp Disponible en línea: [http://www.saber.ula.ve/bitstream/123456789/27457/1/maestria\\_def.pdf](http://www.saber.ula.ve/bitstream/123456789/27457/1/maestria_def.pdf)
- Dentoni, M. y Muñoz, M. (2007). Informe Técnico N° 1. Sistemas de Evaluación de peligro de incendios. Plan Nacional de Manejo del Fuego, Programa Nacional de Evaluación de Peligro de Incendios y Alerta Temprana. Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable. 37 pp. Chubut, Argentina. ISSN 2313-9420. Disponible en: [http://www.ambiente.gov.ar/archivos/web/PNMF/file/Bibliografia/PNMF\\_IT1.pdf](http://www.ambiente.gov.ar/archivos/web/PNMF/file/Bibliografia/PNMF_IT1.pdf)
- Estrada, O. (2006) Sistema Nacional de Protección contra los Incendios Forestales. Incendios Forestales. Mundi-Prensa, Comisión Nacional Forestal. México. 185-213 pp.
- Flores, G. (2009). Variación espacial del comportamiento del fuego con base en el mapeo de combustibles forestales. En: Flores, J. G. (coordinador). Impacto Ambiental de Incendios



- Forestales. Mundi-Prensa, México, S. A. de C. V. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales (INIFAP), Colegio de Postgraduados. México.
- Flores, G. (coordinador). (2009). Impacto Ambiental de Incendios Forestales. Mundi-Prensa, México, S. A. de C. V. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales (INIFAP), Colegio de Postgraduados. México. 325 pp.
- Flores, J. y Gómez, L. (2013). Programa Nacional de Investigación Incendios Forestales. Núm. 3. INIFAP-CIRPAC. Campo Experimental Centro-Altos de Jalisco, México
- Fondo para Atender a la Población Rural Afectada por Contingencias Climatológicas (FAPRACC, 2014). Padrones de Beneficiarios por contingencia climatológica-sequía (2003-2007). México. Disponible en: <http://pacc.sagarpa.gob.mx/info/padrones.asp>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO, 2009) (En español). El problema de los incendios forestales. Roma. Disponible en: <http://www.fao.org/news/story/es/item/29145/icode/>
- Franco, A. (s. f.). Algunas técnicas para el análisis y la prevención ante riesgos naturales de Incendios, deslizamientos e inundaciones. 9no Congreso Nacional del medio Ambiente, Cumbre del desarrollo Sostenible. Madrid, España. 31 pp. Disponible en: [http://www.conama9.org/conama9/download/files/CTs/2561\\_AFranco.pdf](http://www.conama9.org/conama9/download/files/CTs/2561_AFranco.pdf)
- Giraldo, A. (2011). Dendrocronología en el trópico: aplicaciones actuales y potenciales. 97-111 pp. Colomb. vol.14, n.1. Junio, 2011. Disponible en: [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S012007392011000100009&lng=en](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S012007392011000100009&lng=en)
- Glantz, M. (1996). Currents of change: El Niño's impact on climate and society. New York, Cambridge University Press. 141 pp.
- González, L. (2005). Análisis de la distribución espacial y temporal de los incendios en el estado de Oaxaca de 1998 al 2003. Tesis de licenciatura. Facultad de Filosofía y Letras, UNAM. México. 168 pp.
- González, L. (2008). El efecto de El Niño sobre los mega-incendios en México. Tesis de Maestría. Facultad de Filosofía y Letras, UNAM. México. 82 pp.
- Hernández, M., Carrasco, G. y Alfaro, G. (2007). Mitos y realidades de la sequía en México. Universidad Nacional Autónoma de México, México. 148pp.
- IG-SEMARNAT (2001). Inventario Forestal Nacional 2000. Instituto de Geografía, UNAM; Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, México. Disponible en: [http://www2.inecc.gob.mx/emapas/slp\\_04.html](http://www2.inecc.gob.mx/emapas/slp_04.html)
- INEGI (2007). VIII Censo Agropecuario, 2007. Regiones agropecuarias de San Luis Potosí: Censo Agropecuario 2007. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. México. INEGI, c2012.
- INEGI (2014). Información por entidad federativa-San Luis Potosí, México. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. México. Disponible en:

<http://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/SLP/>

International Research Institute for Climate and Society (IRI, 2002). El Niño and La Niña-Background. Earth Institute-Columbia University. Disponible en: [http://iri.columbia.edu/~blyon/Next\\_ENSO/background/basics.html](http://iri.columbia.edu/~blyon/Next_ENSO/background/basics.html)

IPCC (2007). Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. [Equipo de redacción principal: Pachauri, R.K. y Reisinger, A. (directores de la publicación)]. IPCC, Ginebra, Suiza, 104 pp.

IPCC. (2014). ¿Qué es el IPCC?. 2014, de IPCC (en español). Disponible en: <http://www.fao.org/news/story/es/item/29145/icode/>

Jardel, E. (2009). Regímenes de fuego en ecosistemas forestales de México. En: Flores, J. G. (coordinador), Impacto Ambiental de Incendios Forestales. Mundi-Prensa México, S. A. de C. V. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales (INIFAP), Colegio de Postgraduados. México. 73-100 pp.

Jardel, E. (2010). Planificación del Manejo del Fuego. Universidad de Guadalajara-Fundación Manantlán para la Biodiversidad de Occidente-Consejo Civil Mexicano para la Silvicultura Sostenible-Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza. Autlán, Jalisco, México.

López, J y Villers, L. (Editores). (2004). Incendios forestales en México. Métodos de evaluación. Universidad Nacional Autónoma de México – Centro de Ciencias de la Atmósfera. México. 164 pp.

Magaña, V. (Editor) (2004). Los impactos de El Niño en México. Centro de Ciencias de la Atmósfera, Universidad Nacional Autónoma de México, Secretaría de Gobernación. México, 229 pp.

Magaña, V. y Morales, C. (2004). En: Magaña Rueda Víctor (Editor) (2004). Los impactos de El Niño en México. Centro de Ciencias de la Atmósfera, Universidad Nacional Autónoma de México, Secretaría de Gobernación. México, 229 p.

Magaña, V., Méndez, J., Morales, R. y Millán, C. (2004). Consecuencias presentes y futuras de la variabilidad y cambio climático en México. En: Martínez, J. y A. Fernández Bremauntz. (Compiladores). "Cambio climático, una visión desde México". INE-SEMARNAT: México.

Magaña, V., Pérez, J. y Conde, C. (1998). El fenómeno de El Niño y la oscilación del sur. Sus impactos en México. 14-18pp. Revista de cultura científica de la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F. Disponible en: <http://www.revistaciencias.unam.mx/images/stories/Articles/51/CNS05103.pdf>

Manzo, L. (2009). Análisis satelital multitemporal de la vegetación. En: Aguirre Gómez Raúl [Coordinador] (2009). Conceptos de Geomática y estudios de caso en México. Instituto de Geografía-Universidad Nacional Autónoma de México. 241-260 pp.

Mckenzie, D. (2004). La historia del fuego y su relación con el clima. En: López, J y Villers, L. (Editores). Incendios forestales en México. Métodos de evaluación. Universidad Nacional Autónoma de México-Centro de Ciencias de la Atmósfera. México. 09-24 pp.

- McPhaden, M. (1993). TOGA-TAO and the 1991-93 El Niño Southern Oscillation Event. *Oceanography* 6 (2). Disponible en: <http://dx.doi.org/10.5670/oceanog.1993.12>
- Medina, A. (2007). Reconstrucción de los regímenes de fuego en un bosque de *Prosopis caldenia*, provincia de La Pampa, Argentina. 234-240 pp. *Bosque (Valdivia)*. vol.28, n.3. Disponible en: [http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_pdf&pid=S071792002007000300008&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_pdf&pid=S071792002007000300008&lng=es&nrm=iso&tlng=es)
- Méndez, J. (2010). Variabilidad espacio-temporal de la sequía meteorológica en México: aspectos dinámicos. 112 pp. Tesis para obtener el grado de Doctor en Ciencias. Facultad de Ciencias, UNAM. México.
- Mendoza, E. 2002. Modelo Cartográfico de Riesgo de Incendios para la Cuenca Alta del río Caroní. 57 pp. Tesis de Pregrado. Facultad de Ingeniería, Universidad de los Andes. Venezuela. Disponible en: [http://tesis.ula.ve/pregrado/tde\\_arquivos/8/TDE-2013-03-15T01:02:15Z-1937/Publico/mendozalaura\\_parte1.pdf](http://tesis.ula.ve/pregrado/tde_arquivos/8/TDE-2013-03-15T01:02:15Z-1937/Publico/mendozalaura_parte1.pdf)
- NASA North American Drought Monitor (2014). Disponible en: <http://www.ncdc.noaa.gov/temp-and-precip/drought/nadm/indices?mdf=map&divstn=div&indicator=spi>
- NASA LANCE-FIRMS (2014). MODIS Hotspot/Active Fire Detections. Data set. Disponible en: <http://earthdata.nasa.gov/data/nrt-data/firms>
- NOAA (2014). Climate Prediction Center. Cold and warm episodes by season. Disponible en: [http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis\\_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml](http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml)
- Núñez, S.; Núñez, L.; Podestá, G. y Skansi, M. (2005). El Índice Estandarizado de precipitación como herramienta para la caracterización y el monitoreo de la sequía: una prueba de concepto. Abstract submitted to CONGREGMET IX, 9th Argentine Congress of Meteorology, Buenos Aires, Argentina, 3-7 October 2005. 11pp. Disponible en: <https://www.rsmas.miami.edu/users/agriculture/pubs/meetings/abstracts/SPI-SMN.pdf>
- Porrero, M. (2001). Incendios Forestales. Investigación de causas. Ediciones Mundi-Prensa. España. 158 pp
- Programa de Atención a Contingencias Climatológicas (PACC, 2010). Evaluación Externa de Resultados, 2010 Informe Final. SAGARPA-Universidad Autónoma de Chapingo. 223pp.
- Programa de Atención a Contingencias Climatológicas (PACC, 2014). Padrones de Beneficiarios por contingencia climatológica-sequía (2008-2011). México. Disponible en: <http://pacc.sagarpa.gob.mx/info/padrones.asp>
- Reyes, S. y Troncoso, R. (2001). El Niño Oscilación del Sur y los fenómenos hidrometeorológicos en Baja California: el evento de 1997/98. *Ciencia Pesquera*, (14), 89-96. Disponible en: <http://www.inapesca.gob.mx/portal/documentos/publicaciones/cienciapesquera/CP15/CP15-02%20LHC.pdf>
- Ritchey, F (2002). Estadística para las ciencias sociales. Segunda Edición. Mc Graw Hill. México. páginas 509-536.

- Rodríguez, D. (1996). Incendios Forestales. Universidad Autónoma de Chapingo. Mundi-Prensa México, S. A. de C. V. México. 630 pp
- Secretaría de agricultura, ganadería, desarrollo rural, pesca y alimentación (SIAP, 2014). Producción agropecuaria y pesquera. Producción anual, cierre de la producción agrícola por estado y cultivo. Disponible en: <http://www.siap.gob.mx>
- Segarra, J. y Bice, D. (2009). Latidos de la Tierra. Modelos ambientales frente al Cambio Climático. Primera edición. 26 Ciencia Abierta. NIVOLA libros y ediciones, S. L. España. 192pp.
- Servicio Meteorológico Nacional (SMN, 2014). Índice Estandarizado de precipitación. Comisión Nacional del agua, CONAGUA. México. Disponible en: [http://smn.cna.gob.mx/index.php?option=com\\_content&view=article&id=257&Itemid=164](http://smn.cna.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=257&Itemid=164)
- Sistema de inventario de efectos de desastres. (Desinventar, 2014). México-Inventario histórico de desastres. Disponible en: <http://www.desinventar.org/es/>
- Terradas, J. (2001). Ecología de la vegetación. De la fisiología de las plantas a la dinámica de comunidades de paisajes. Ediciones Omega, S. A. Barcelona, España. 703 pp
- Vázquez, J. (2007). Variabilidad de la precipitación en la República Mexicana. Tesis de Maestría en Ciencias (Física de la Atmósfera). Ciencias de la Tierra, Centro de Ciencias de la Atmósfera. UNAM. México. 110 pp.
- Villalba, R., Villagra, P., Boninsegna, J., Morales, M. y Moyano, V. (2000). Dendroecología y dendroclimatología con especies del género prosopis en argentina. ISSN 0327-9375. Departamento de Dendrocronología e Historia Ambiental. IANIGLA-CRICYT. CC.330. 5500. Mendoza, Argentina. 18pp Disponible en: [http://www.cricyt.edu.ar/multequina/indice/pdf/09\\_02/9\\_2\\_1.pdf](http://www.cricyt.edu.ar/multequina/indice/pdf/09_02/9_2_1.pdf)
- Villers, L. (2006). Parámetros ambientales físico-bióticos y modelos para estudiar el comportamiento del fuego. En: Flores, J y Rodríguez, D. [Coordinadores]. (2006). Incendios Forestales. Definiendo el problema, ecología y manejo, participación social, fortalecimiento de capacidades, educación y divulgación. Comisión Nacional Forestal-Mundi-Prensa México, S. A. de C. V. México.
- Voituriez, B. (2000). El Niño: realidad y ficción. UNESCO. Traducción del francés por Rodrigo Figueroa Saintard. París, Francia. 142 pp.
- Zebiak, S. (1999). El Niño and the science of climate prediction: A review assessment. Consequences vol. 5 no. 2, 3-15 pp.