



DIRECTORIO

GOBIERNO DEL ESTADO DE SAN LUIS POTOSÍ

Dr. Juan Manuel Carreras López
Gobernador Constitucional del Estado de San Luis Potosí

Lic. Alejandro Leal Tovías
Secretario General de Gobierno

Lic. Aldo Emmanuel Torres Villa
Secretario Técnico de Gobierno

C.P. Yvett Salazar Torres
Secretaria de Ecología y Gestión Ambiental

DIRECTORIO
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA SAN LUIS POTOSÍ

M. en Arq. Manuel Fermín Villar Rubio
Rector de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí

Dr. Anuar Abraham Kasis Ariceaga
Secretario General

Dr. José Luis Lara Mireles
Director de la Facultad de Agronomía y Veterinaria

Dr. Pedro Medellín Milán
Coordinador de la Agenda Ambiental

EQUIPO TÉCNICO RESPONSABLE

Dr. José Antonio Ávalos Lozano

Dra. Gabriela Domínguez Cortinas

Dr. Víctor O. Magaña Rueda

Dr. Gerardo Hernández Cendejas

Dr. Ovidio Díaz Gómez

Dr. Alfredo Ávila Galarza

Dr. Miguel Aguilar Robledo

Dr. José Luis Lara Mireles

Biól. Mauro Roldán Ortiz

M.C. Mario Cruz González

C.P. Edmundo Portilla Rivera

Dra. Catarina Loredo Osti

Geog. José de Jesús Izaguirre Hernández

Ing. Mario Orlando Bonomi Cervantes

Ing. Jesús Mendoza Patiño

Dr. Ricardo Villasis Keever

Dr. German Santacruz de León

Dr. Ernesto Iván Badano

Dr. Hugo Ricardo Navarro Contreras

Miguel Ángel Vidal Borbolla

Dr. Guillermo Zúñiga Gutiérrez

Ing. Francisco de la Rosa Carpizo

Ing. Raúl Fernando Juárez Martínez

Lic. Guillermo Aldret León

CAPITULO DE CAMBIO CLIMÁTICO Y SALUD DE SAN LUIS POTOSÍ

Dra. Gabriela Domínguez Cortinas

GRUPO DE TRABAJO COFEPRIS DE DE CLIMA Y SALUD.

Dra. Mónica Liliana Rangel Martínez

Directora General de los Servicios de Salud de S.L.P.

Lic. Manuel Téllez Bugarin

Dirección Local de la Comisión Nacional del Agua.

C.P. Ivett Salazar Torres

Secretaria de Ecología y Gestión Ambiental de Gobierno del Estado.

Dr. Carlos Alberto Aguilar Acosta

Comisión para la Protección contra Riesgos Sanitarios

Dr. Agustín Díaz Goiz

Director de Políticas y Calidad En Salud.

Dr. Marco Aurelio Gamba Aguilera

Director de Planeación, Evaluación y Proyectos Especiales

Dr. Marcelo Aranda Álvarez

Subdirección de Epidemiología

Dra. Ma. De Lourdes Saldívar Olague

Subdirección de Programación y Seguimiento

Dra. Mayra Llanes Fernández

Subdirección de Evidencia y Manejo de Riesgo

Ing. Armando Rocha Hernández

Jefe del Centro de Prevención Meteorológica de la Conagua.

Q.F.B. Ma. Beatriz Cortes Juárez

Departamento de la Calidad del Agua de la Conagua.

Ing. Víctor Saúl Murillo Hernández

Director del Centro de Información de la Segam.

Ing. José Antonio Undiano Errejón

Director de Estudios y Proyectos de la Segam.

C.P. Norma González Loredó

Departamento de Planeación y Evaluación de los SSSLP

Dra. Lilia Judit Sánchez Saldaño

Responsable de Morbilidad de los SSSLP

Dra. Estela Pacheco Rodríguez

COEPRIS

Ing. Martin Almanza Gaviña

Líder Estatal del Proyecto Cambio Climático

EDICIÓN

LAE. Karina Nimmerfall Bernal

IAE. Maywalida Montenegro Herrera

Tabla de contenido

1. RESUMEN EJECUTIVO	- 11 -
2. INTRODUCCIÓN	- 17 -
2.1 PRESENTACIÓN.....	- 17 -
2.2 EL CLIMA Y EL TIEMPO.....	- 18 -
2.3 EL CAMBIO CLIMÁTICO.....	- 21 -
2.4 LA INSTRUMENTACIÓN Y LA ATRIBUCIÓN DEL CAMBIO CLIMÁTICO	- 25 -
2.3 MARCO NORMATIVO	- 31 -
2.3.1 Marco normativo internacional.....	- 31 -
2.3.2 Marco normativo nacional	- 34 -
2.3.3 Marco normativo estatal.....	- 40 -
2.4 ANTECEDENTES	- 44 -
2.4.1 Antecedentes internacionales.....	- 44 -
2.4.2 Antecedentes nacionales	- 49 -
2.4.3 Antecedentes en el estado de San Luis Potosí	- 50 -
3. OBJETIVOS Y ALCANCES.....	- 53 -
3.1 OBJETIVO GENERAL.....	- 53 -
3.2 OBJETIVOS PARTICULARES	- 53 -
3.3 ALCANCES.....	- 53 -
3.4 ÁREAS DE ACTUACIÓN.....	- 54 -
3.4.1 Pilares de la política estatal.....	- 54 -
3.4.2 Adaptación	- 55 -
3.4.3 Mitigación.....	- 56 -
4. DEFINICIÓN DE UNIDADES DE GESTIÓN DE RIESGOS CLIMÁTICOS (UGER)	- 48 -
5. DIAGNÓSTICO-Y CONSTRUCCIÓN DE ESCENARIOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN SAN LUIS POTOSÍ	71
5.1 ANÁLISIS DE ALTA RESOLUCIÓN DE LA VARIABILIDAD CLIMÁTICA 1900-2010	71
5.2 CONSTRUCCIÓN DE ESCENARIOS CLIMÁTICOS	- 128 -

5.2.1 Construcción de escenarios climáticos futuros utilizando las Rutas o Vías de Concentración Representativas (RCP)	- 128 -
5.2.2 Validación de escenarios con la herramienta WRF (Weather Research and Forecasting Model)	- 137 -
5.2.3 Modelación de índices climáticos con la herramienta knmi	- 141 -
5.3 ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO BASADOS EN SERIES DE TIEMPO (ECCST), ENFOQUE BOTTOM-UP	- 144 -
5.3.1 Tendencias interanuales	- 144 -
5.3.2 Tendencias intraestacionales	- 149 -
5.3.3 Índices extremos CLIMDEX.....	- 161 -
5.3.4 Escenarios de cambio climático basados en series de tiempo (ECCST)	- 166 -
6. EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD EN LOS SECTORES ESTRATÉGICOS DEL ESTADO DE SAN LUIS POTOSÍ.....	- 172 -
6.1 PAISAJES Y ECOSISTEMAS.....	- 177 -
6.2 AGRICULTURA Y GANADERÍA	172
6.3 AGUA Y GESTIÓN DE CUENCAS.....	179
6.4 SALUD Y CAMBIO CLIMÁTICO EN EL ESTADO DE SAN LUIS POTOSÍ	194
6.4.1 Introducción	194
6.4.3 La salud y los impactos de la variabilidad y el cambio climático	196
6.4.4 Descripción metodológica	201
6.4.5 Resultados del análisis climático	203
6.4.6 Mortalidad por golpes de calor.	211
6.4.7 Mortalidad por enfermedades asociadas al clima.....	213
6.4.8 Morbilidad de las principales enfermedades asociadas al clima.....	225
6.4.9 Conclusiones generales.....	269
6.5 CIUDADES Y SU ÁREA DE SERVIDUMBRE ECOLÓGICA	271
6.5 EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD DE LAS ACTIVIDADES ECONÓMICAS SECUNDARIAS DE SAN LUIS POTOSÍ A LA VARIABILIDAD Y EL CAMBIO CLIMÁTICO	278
6.6 ÍNDICE DE VULNERABILIDAD	287
7. Bibliografía	- 292 -

**CAPITULO UNO
RESUMEN EJECUTIVO**

1. RESUMEN EJECUTIVO

El Programa Estatal de Acción ante el Cambio Climático para San Luis Potosí fue realizado utilizando una metodología unificada, que se aplicó a todas las regiones geomorfológicas del estado.

Se construyó una climatología de alta resolución para el Estado, con base en dos tipos de aproximaciones complementarias: un análisis de datos climatológicos, de las estaciones meteorológicas de la zona de estudio, usando series de tiempo (de 30 a 40 años) y un análisis de tendencias, utilizando series históricas de datos climáticos de 100 años, de menor resolución (54 km). Adicionalmente, se calcularon y cartografiaron 27 índices de cambio climático basados en datos diarios, para los periodos 1970-2010 y 1980-2010, para más de 94 estaciones localizadas en San Luis Potosí. Se calculó y cartografió la variabilidad interanual en la precipitación y las anomalías correspondientes, utilizando el modelo de Conrad (1941). Los métodos particulares de análisis y sus resultados se explican en forma detallada dentro del texto.

Para la construcción de escenarios de vulnerabilidad se utilizaron dos metodologías complementarias: Construcción de escenarios climáticos futuros utilizando las Rutas o Vías de Concentración Representativas (RCP) y su respectiva validación mediante la herramienta WRF. Asimismo, se empleó la herramienta KNMI para calcular los índices extremos de importancia ecológica o social, el análisis de los datos extremos nos permite evaluar si la distribución de probabilidades de los elementos del clima se está modificando, adicionalmente, nos proporciona información importante sobre los impactos producidos por el cambio climático en los diferentes sectores estratégicos.

Los escenarios RCP 8,5 proponen que al finalizar el siglo la temperatura máxima en el Estado aumentará alrededor de 4 grados centígrados, mientras que la mínima aumentará entre 4 y 4,8 °C. En lo referente a la precipitación los resultados no son concluyentes.

Los indicadores de RCP 8,5 en los que se presentan cambios más importantes son: los porcentajes de noches y días fríos que disminuyen, para el 2100, en cerca del 8%; mientras las noches y días calientes aumentarán para la misma fecha en cerca del 75%, lo que podría significar una disminución sustancial de nuestra producción de granos básicos.

Como se ha mencionado, el interés central al caracterizar la vulnerabilidad climática del estado, obligó a la aplicación de métodos que disminuyen la incertidumbre y son más representativos y útiles a escala local. Bajo esta consideración se utiliza un enfoque de abajo hacia arriba. Los hallazgos más importantes al ser aplicada esta metodología, fueron:

1. Los cambios en la temperatura máxima en San Luis Potosí, en el periodo 1970-2010, presentan diferentes tendencias de variación, siendo las regiones más afectadas Planicie Costera y Sierra Madre Oriental, donde se aprecian incrementos de 3 a 7 °C, con mucho, superiores al peor de los escenarios RCP de largo plazo.
2. Para la temperatura mínima los cambios, en el periodo 1970-2010, presentan diferentes tendencias de variación, siendo las regiones más afectadas la Altiplanicie Costera y Sierra Madre Oriental, donde se aprecian variaciones positivas entre 1 y 3 °C, superiores al peor de los escenarios RCP de corto y mediano plazo.
3. Para la precipitación (mapa 5.47) los cambios, en el periodo 1970-2010, presentan diferentes tendencias de variación, siendo las regiones más afectadas la Altiplanicie Costera y Sierra Madre Oriental, donde se aprecian variaciones negativas de 200 a 500 mm, superiores al peor de los escenarios RCP de corto y mediano plazo, en los que no se aprecia variación.
4. El cambio de uso de la tierra tiene una magnitud preocupante en San Luis Potosí y se considera una de las variables conductoras de una especie de cambio climático local, más importante, que los efectos provocados por el cambio climático global.

5. No se cuenta con información sistemática sobre los efectos de los cambios climáticos en los ecosistemas potosinos, aunque se presume que algunos fenómenos locales como la plaga de descortezadores en el municipio de Xilitla se debe a variaciones en la temperatura, principalmente, en la temperatura mínima, observados en Xilitla y empujado por un incremento en la precipitación y en la humedad relativa, adicionalmente, el incremento de material combustible, producto de la muerte de los árboles, aumenta la tasa de incendios e incrementa los procesos de sucesión.

6. En el sector agrícola, se han documentado cambios, en los últimos 40 años:

6.1 Un aumento en la temperatura mínima en la Planicie Costera y en Sierra Madre Oriental, en los meses de febrero y junio lo cual puede tener efectos sobre los cultivos de temporal y riego, dado que, el incremento en las noches calientes provoca una disminución en la producción de granos básicos, particularmente en primavera-verano.

6.2 Una disminución en la temperatura mínima en la Planicie Costera, Sierra Madre Oriental y Serranías Meridionales en diciembre, lo cual representa una amenaza para los cultivos de otoño-invierno, debido al aumento el riesgo de heladas negras. La disminución de la precipitación en la Planicie Costera y en Sierra Madre Oriental, en mayo y junio afecta los cultivos de temporal y riego, dado que estos meses son los más calientes del año, en la peor de las combinaciones posible, en las dos regiones, aumenta la demanda de agua y, al mismo tiempo, disminuye su disponibilidad.

6.3 Un retraso en el arranque del periodo de lluvias, que se ha corrido a fines de junio, principios de julio, es notable un incremento en la precipitación en la Planicie Costera y Sierra Madre Oriental en el mes de octubre.

6.4 Finalmente, la precipitación disminuyó en forma intensa en la Planicie Costera y la Sierra Madre Oriental en el mes de diciembre, lo cual

aumenta el riesgo de heladas negras; por otro lado, este pico de precipitación documentado por (Rzedowski, 1966), tiende a desaparecer lo cual puede tener un efecto importante en los sistemas de producción forestales.

6.5 El análisis de las tendencias de producción de maíz en México y en San Luis Potosí, no parece responder al cambio climático, aunque la producción agrícola es extremadamente vulnerable a los eventos meteorológicos extremos, no existen evidencias concluyentes sobre el incremento de los fenómenos meteorológicos extremos ni en México ni en San Luis Potosí.

7. Los modelos utilizados para construir escenarios de disponibilidad de agua en las dos regiones hidrológicas del estado sugieren que, de mantenerse las tendencias de crecimiento poblacional y de uso del recurso en ambas regiones hidrológicas, la disponibilidad de agua en todo el Estado será drásticamente disminuida a mediano plazo.
8. Un problema importante en el balance hidrológico y en la disponibilidad de agua es la pérdida de la integridad funcional de cuencas, lo cual influye en la recarga de acuíferos y en la formación de corrientes. Esta pérdida es motivada por el cambio en el uso de la tierra (CUS) y la erosión, se ha registrado que las zonas de cabecera de las cuencas potosinas más fuertemente perturbadas por la erosión son las correspondientes a la Región Huasteca en la misma zona donde la vulnerabilidad climática se manifiesta con mayor intensidad.
9. Se logró determinar el peso específico (o de atribución) de los elementos climáticos (temperatura máxima, temperatura mínima y precipitación) sobre la condición de la morbilidad y mortalidad identificada a nivel estatal, regional y municipal, dimensionando en términos cuantitativos las posibles implicaciones locales, directas y/o indirectas de la variabilidad y el cambio climático sobre la salud de las poblaciones. Se establecen bases sólidas

para el diseño de programas de prevención y alerta temprana perfectamente dirigidos a un tipo de población con una condición social, climática y de salud específica. En este sentido, se posibilita crear diagnósticos integrales de salud a escalas de alta resolución espacial (locales) que redunden en esquemas de protección civil que prevenga los riesgos a la salud de las poblaciones que se ubican en áreas vulnerables y que además son impactadas por la variabilidad y el cambio climático.

**CAPITULO DOS
INTRODUCCIÓN**

2. INTRODUCCIÓN

2.1 PRESENTACIÓN

El Programa Estatal de Acción ante el Cambio Climático (PEACC-SLP), es un instrumento de planeación obligatorio, establecido, tanto en la Ley General de Cambio Climático como en la Ley de Cambio Climático para el estado de San Luis Potosí, esta última, en el artículo 3 fracción XV lo define como:

“El documento que contempla, en concordancia con el marco estatal de planeación, en forma ordenada y coherente, estrategias, políticas, directrices y tácticas en tiempo y espacio, así como los instrumentos, mecanismos y acciones relacionadas al cambio climático en el ámbito estatal” (Gobierno del estado de San Luis Potosí, 2015).

La misma ley estatal, en su artículo 45, establece los elementos que deberá incluir el instrumento:

- I. Las políticas estatales y su congruencia con las políticas nacionales sobre cambio climático y protección de la capa de ozono;
- II. La integración de un diagnóstico sobre la problemática del cambio climático y su impacto en el Estado;
- III. La coordinación de estrategias estatales de acción climática entre las distintas dependencias y entidades gubernamentales, y la difusión periódica de los avances en la materia;
- IV. La formulación y adopción de las políticas, estrategias y acciones necesarias para el cumplimiento de los fines del programa estatal;
- V. El diseño de un sistema estatal de información climática;
- VI. La valoración económica de los costos asociados al cambio climático en el Estado;
- VII. La creación del Sistema de Monitoreo Atmosférico para la contabilización de emisiones de gases de efecto invernadero en el Estado;

VIII. La promoción, difusión, evaluación y, en su caso, aprobación de proyectos de reducción de emisiones y captura de gases de efecto invernadero, y

XI. La planeación de proyectos regionales de reducción de gases de efecto invernadero, en las empresas asentadas en el Estado” (Gobierno del estado de San Luis Potosi, 2015).

Con base en las consideraciones anteriores, el Gobierno del estado de San Luis Potosí, con la participación de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí, ha elaborado y presenta a la consideración de la Sociedad el Programa Estatal de Acción ante el Cambio Climático de San Luis Potosí (PEACC-SLP), marco de planeación diseñado para: articular las políticas públicas, para definir las acciones de gobierno en San Luis Potosí y para orientar la participación social en las estrategias de adaptación y mitigación ante la amenaza climática.

El Gobierno del Estado entiende que San Luis Potosí, por sus condiciones geográficas únicas, resulta un escenario complejo, de importancia nacional, que permite entender los procesos, presentes en todo el territorio, asociados al cambio climático; por consiguiente, ha dispuesto de importantes recursos humanos y financieros para enfrentar el reto. En el camino, se han identificado las amenazas y oportunidades, las debilidades y fortalezas de la sociedad potosina. Una particularidad interesante del territorio potosino es su extraordinaria diversidad física, climática, ecológica y cultural, la cual se manifiesta en una gran variedad de ecosistemas, sistemas de producción agrícolas y pecuarios, biodiversidad, tecnologías, e, incluso, estrategias independientes de adaptación. Esta gran diversidad es resultado natural de la variabilidad geográfica y climática del estado, y es considerada una de las más importantes del Mundo; resulta claro que constituye una fortaleza que reduce la vulnerabilidad de San Luis Potosí, y de México, ante los perniciosos efectos de la Crisis Socioambiental.

2.2 EL CLIMA Y EL TIEMPO

El concepto de tiempo meteorológico, denominado “*weather*” en inglés, se refiere a la condición o estado que guarda una porción de la atmósfera en un tiempo y

lugar determinados. Las variaciones del tiempo meteorológico –siempre cambiantes– son determinadas utilizando un conjunto de variables de estado a las que llamamos elementos del tiempo:

- a) temperatura del aire, es una medida de la velocidad promedio de los átomos y moléculas que constituyen una parcela determinada de la atmósfera. La temperatura se mide mediante la determinación del calor, que es la energía en proceso de transferencia de un objeto a otro, debido a la diferencia de temperaturas entre dos cuerpos. Cuando el calor es transferido, se almacena como energía interna y la temperatura del cuerpo receptor se incrementa. En la atmósfera, el calor es transferido por conducción, convección y radiación. (Ahrens, 2013)
- b) presión del aire, la fuerza aplicada por el peso de una columna de aire en un área determinada. (Ahrens, 2013)
- c) humedad, medida de la cantidad de vapor de agua contenido en una masa de aire. (Ahrens, 2013)
- d) nubes, una masa visible de una mezcla –llamada coloide– de pequeñísimas gotas de agua y/o cristales de hielo, núcleos sólidos y aire, que se encuentran flotando arriba de la superficie de la Tierra. (Ahrens, 2013)
- e) precipitación, agua, en estado líquido o sólido (lluvia, hielo, nieve), que cae desde las nubes y alcanza el suelo. (Ahrens, 2013)
- f) visibilidad, la mayor distancia que puede ser vista por un observador estándar. (Ahrens, 2013)
- g) vientos, el movimiento horizontal del aire, en este caso se evalúa la dirección y velocidad. (Ahrens, 2013)

Sí los elementos del tiempo meteorológico se monitorizan sobre largos periodos de tiempo, se puede decir, después de muchos años, que se ha obtenido la distribución de frecuencias de datos del tiempo, también llamada clima (“*climate*”), de una región particular. El concepto del clima va más allá de los valores de tendencia central del tiempo, también incluye la variabilidad climática y, en forma particularmente importante los valores extremos y su probabilidad.

En los hechos, el clima es una distribución de frecuencias de datos de los elementos del tiempo meteorológico –presión, temperatura máxima, temperatura mínima, precipitación, humedad del suelo, humedad atmosférica, evapotranspiración, calor latente y calor sensible, etcétera– medidas en un área específica, y obtenidos por una serie de tiempo, de extensión variable.

Anteriormente, se consideraba que, siempre que se cuente con datos de una serie de tiempo lo suficientemente grande –los climatólogos consideran cuando menos 30 años de datos–, era posible asociar una probabilidad definida a cada valor de una variable, construyendo una “distribución de probabilidades”. Esto es posible debido a que el clima obedece a patrones temporales, determinados por variables conductoras de física de la atmósfera y por factores geográficos que influyen su comportamiento: 1) la latitud, 2) la orografía, 3) la distribución de tierras y aguas, 4) las corrientes marinas, 5) las tormentas junto con sus trayectorias y 6) las anomalías en la superficie del mar. Siendo los tres primeros “controles permanentes”, y los últimos “controles variables” (Ruiz, Tejeda, Miranda, & Flores, 2010). Entonces, siempre que se cuente con suficientes datos, se considera posible identificar la probabilidad de ocurrencia de un evento particular, por ejemplo, la probabilidad de que en la Ciudad de San Luis Potosí se presente una precipitación superior a 100 mm, en una hora.

Pero lo anterior, no debe confundir, el comportamiento del clima, como el de todo sistema caótico, es complejo, debido a su condición dinámica presenta una gran variabilidad natural, con oscilaciones de muy baja, baja, media, alta y muy alta frecuencia, que dependen de factores astronómicos, físicos, químicos, biológicos, ecológicos, geomorfológicos, sociales, geográficos, que interactúan en forma compleja, y multivariada. Por consiguiente, entender la dinámica climática y calcular las probabilidades de ocurrencia de un evento complejo como una sequía resulta muy difícil.

Sin embargo, hasta hace pocos años, y pese a su complejidad, fue posible utilizar los valores medios y de dispersión de las variables significativas para obtener

información climática, valiosa para nuestras actividades; el problema es que solo es posible construir una distribución de probabilidades cuando el clima presenta cierta estabilidad y existen evidencias de que la estabilidad climática está llegando a su fin.

2.3 EL CAMBIO CLIMÁTICO

El Cambio climático ha sido definido por el Gobierno Mexicano en el artículo 3º, fracción III. De la Ley General de Cambio Climático como:

“La variación del clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana, que altera la composición de la atmósfera global y se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos comparables”
(Gobierno de la Republica, 2012)

Actualmente, este fenómeno se ha convertido en uno de los temas de carácter global que más preocupa a los líderes, científicos y organizaciones sociales de todas las naciones. Con el paso del tiempo, se ha venido confirmando la existencia de una modificación en los patrones de clima, aunque continúan las discusiones sobre sus efectos y sus causas, en particular, la relación entre el cambio climático global y algunas actividades humanas.

Pese al aparente consenso demostrado por el Quinto informe del Panel intergubernamental de Cambio Climático (IPCC), la realidad es que el esfuerzo aplicado para aumentar la investigación en esta materia ha incorporado nuevos elementos que dificultan la comprensión del fenómeno, ha generado, también, la aparición de nuevas aproximaciones basadas en la complejidad, una batalla de paradigmas y un campo fértil de discusión. Con la finalidad de garantizar la aplicabilidad de los resultados obtenidos se ha considerado conveniente incorporar estas dos visiones en la construcción del PEACC-SLP.

Una característica notable de las ciencias biológicas es el desarrollo desigual de sus diferentes campos, por ejemplo, en los últimos años, el conocimiento sobre los procesos vitales que suceden a nivel molecular ha aumentado en forma extraordinaria; en contraste, el entendimiento sobre los procesos que determinan

la dinámica de los paisajes¹: el régimen de disturbio, la resiliencia, los umbrales ecológicos y las transiciones críticas, ha avanzado mucho más lentamente. (Scheffer, *Critical Transitions in Nature and Society*, 2009); (Odum & Barret, 2005).

La diferencia es sorprendente, principalmente, si consideramos los efectos de la crisis socioambiental que afectan a la Biosfera, provocando la finalización del largo periodo de estabilidad denominado Holoceno. Durante diez mil años, el clima, la disponibilidad de agua dulce y los flujos biogeoquímicos se mantuvieron dentro de un rango relativamente estrecho de variabilidad; este período de estabilidad permitió el surgimiento, desarrollo y prosperidad de las civilizaciones humanas; pero, por razones parcialmente desconocidas, en los últimos doscientos años se ha registrado un cambio ambiental global, con consecuencias perniciosas para todas las regiones del mundo; es opinión extendida entre los científicos que ciertas actividades humanas son el principal motor de esta transición global (Rockström, y otros, 2009).

Una manera adecuada de evaluar el avance de la crisis socioambiental es establecer límites planetarios. Estos límites ayudan a definir un ámbito de acción seguro para la humanidad con relación a la biosfera. Los límites también funcionan como indicadores de la condición de algunos de los sistemas socio-ecológicos o procesos biofísicos esenciales para la vida en el planeta.

(Rockström, y otros, 2009) han identificado nueve procesos globales importantes en la biosfera, en los que es necesario establecer fronteras planetarias: el cambio climático; la tasa de pérdida de biodiversidad (terrestre y marina); la interferencia con los ciclos de nitrógeno y fósforo; el agotamiento del ozono estratosférico; la acidificación oceánica; el uso mundial de agua dulce; los cambio en el uso de la tierra; la contaminación química; y la carga atmosférica de aerosoles.

Los mismos autores, basándose en el estado actual del conocimiento científico, cuantificaron siete de los límites planetarios asociados a los procesos

¹ Paisaje definido a partir de Forman & Godron (1986: 11); Burel & Baudry (2004: 43); Odum y Barret (2005); y Turner, et al. (2001), como: "El nivel de la jerarquía organizacional ecológica superior al de ecosistema. Que se caracteriza esencialmente por ser un área distintiva; espacialmente heterogénea, al menos en un atributo de interés mensurable; definida por un patrón o disposición ordenada y reconocible de ecosistemas, que interaccionan; más los nuevos elementos surgidos de la interacción hombre-naturaleza. Que presenta una dinámica de cambio parcialmente gobernada por las actividades humanas.

identificados; estos límites son valores críticos, de una o más variables de control, por ejemplo, en el cambio climático se estableció un límite de la concentración de bióxido de carbono menor a 350 ppm y/o un cambio máximo en el forzamiento radiativo de $+1 \text{ W m}^{-2}$. Según los autores, el establecimiento de límites y su monitorización resultan relevantes debido a que muchos ecosistemas, cuando un umbral ecológico es rebasado, reaccionan, como todo sistema complejo, con una transición crítica no lineal y esta transición a menudo es abrupta. Los sistemas ambientales son particularmente sensibles a ciertos umbrales asociados a variables clave. Rockström y otros (2009) consideran que tres límites planetarios han sido rebasados: el del cambio climático, la pérdida de biodiversidad y el ciclo global del nitrógeno.

Algunos de los umbrales seleccionados por el equipo de Rockström se basan en procesos planetarios lentos, que no presentan evidencias de conductas de umbral a escala planetaria, como la cobertura vegetal de la tierra, que se asocia a la humedad, rugosidad y albedo del suelo; sin embargo, existe amplia evidencia científica de sus importantes efectos sobre el clima y los ecosistemas a nivel local y regional. (Rockström, y otros, 2009).

En el presente estudio diagnóstico, se ha documentado que el cambio de uso de la Tierra puede alterar procesos climáticos esenciales, como las lluvias de verano en México, por ejemplo, la política nacional de desmontes en los años setenta, específicamente, el Plan Pujal-Coy, que eliminó cerca de 90 000 ha de selva en la Planicie Costera potosina-veracruzana y provocó cambios en la humedad, albedo y rugosidad del suelo que han provocado una disminución de la precipitación y un aumento de la temperatura en las Huastecas, (Magaña V. R., 2004) (Ahrens, 2013). Lo mismo, para el caso de las lluvias de invierno, por ejemplo, se considera que algunos cambios de usos de la Tierra observados al este de las montañas Rocallosas en los Estados Unidos pueden afectar el comportamiento de las altas presiones originadas en el sitio, causantes de los Nortes que ocurren en territorio mexicano y responsables de los picos de lluvia de octubre a mayo (Magaña, 2004).

Desgraciadamente, no todos los procesos o subsistemas vitales en la biosfera tienen umbrales definidos (Rockström, y otros, 2009) y tampoco se cuenta con mucha información sobre la forma en que se presentarán las transiciones críticas. Es usual asumir, que las respuestas a las alteraciones provocadas por el cambio climático serán graduales, predecibles y reversibles, sin embargo, la experiencia demuestra que los cambios abruptos son frecuentes en la Naturaleza, brotes de pestes o plagas, explosiones poblacionales de roedores, o fuertes cambios climáticos han sido documentados en el pasado y no parece improbable que puedan ocurrir en el futuro, este tipo de bruscas variaciones han sido denominados por (Scheffer, Critical Transitions in Nature and Society, 2009) transiciones críticas y suceden lo mismo en la Naturaleza que en la Sociedad.

El caso del Desierto del Sahara es un buen ejemplo, Los registros sedimentarios y fósiles sugieren que hace nueve mil años esta zona estuvo cubierta por una densa vegetación y humedales, y aunque durante tres milenios se registró una leve tendencia a la desertización, estas condiciones continuaron sin cambios esenciales; sin embargo, hace seis mil años se presentó un cambio repentino que convirtió a la zona en un desierto, y eso sucedió en un periodo no mayor a cien años, actualmente, se considera que esta transición crítica se provocó por una retroalimentación positiva desbocada entre cambios en la cobertura vegetal y el sistema climático; retroalimentación, que con menor intensidad se ha registrado en San Luis Potosí, aunque, en ambos casos, aún existen múltiples oscuridades no resueltas.

El desconocimiento sobre el comportamiento complejo del clima no es sorprendente, si se considera que estos sistemas son profundamente no-lineales, con entradas y salidas no proporcionales, con cambios que suelen ser abruptos y episódicos y con balances múltiples, que son la norma y no la excepción. Existe una pobre comprensión relativa de los diferentes tipos de relaciones no-lineales y de su dinámica, bajo diversas condiciones y sí ellas reflejan un régimen de disturbio conducido por forzamientos astronómicos y globales, por rizados internos de retroalimentación o por una combinación de ambos.

2.4 LA INSTRUMENTACIÓN Y LA ATRIBUCIÓN DEL CAMBIO CLIMÁTICO

Desde 1995 el debate sobre los impactos globales de largo plazo relacionados con el cambio climático global ha eclipsado a la mayoría de los problemas ambientales urgentes (Wallace, 2010). El problema es que la difusión tan grande de este problema ha llevado a los movimientos ambientalistas y a la Academia a ocuparse, casi exclusivamente, en la ciencia del cambio climático, que ha conseguido subsumir a todas las ciencias ambientales.

“Al no fomentar la creación de mecanismos de discusión y comunicación robustos, de amplia base, se ha permitido que los informes de evaluación del IPCC se conviertan en el vehículo dominante de los puntos de vista de la comunidad científica en una creciente gama de temas ambientales. En la terminología del IPCC, los síntomas de la degradación del medio ambiente, independientemente de su causa, han sido etiquetados como impactos del cambio climático, y la respuesta de la sociedad a ellos se enmarca en términos de mitigación y adaptación al cambio climático” (Wallace, 2010).

Cierto que los investigadores todavía escriben artículos y expresan sus preocupaciones ambientales fuera del ámbito de competencia del IPCC, pero con gran parte de la atención mundial centrada en el cambio climático hay una falta de infraestructura institucional para llamar la atención sobre estas cuestiones (Wallace, 2010).

Resulta claro que la tierra se está calentando, evidencias crecientes que provienen de todo el Mundo han removido virtualmente cualquier duda sobre este hecho (Lobell & Burke, Introduction, 2010), existe, por lo tanto, un amplio consenso con la instrumentación del cambio climático, desgraciadamente, la atribución del cambio climático, es decir la determinación de sus causas, es otra cosa.

La atención mundial en el cambio climático ha provocado un efecto inesperado, actualmente, los métodos utilizados por el IPCC para la atribución de impactos asociados con el clima han sido fuertemente cuestionados. En particular, la aplicación de los modelos reduccionistas, diseñados por este organismo, a

sistemas biológicos y sociales, se ha considerado una extrapolación arbitraria que ha sido rechazada por numerosos autores. Atribuir cualquier cambio ambiental observado al calentamiento global, y considerar que es provocado por la emisión humana de gases de efecto invernadero, sin un previo ejercicio de atribución, es incorrecto (Parmesan, Duarte , Poloczanska, Richardson, & Singer, 2011); es posible, que muchos de los cambios registrados se deban, más bien, a fenómenos asociados a la variabilidad climática natural, o bien, a procesos locales de cambio climático impulsados por fenómenos regionales, como el cambio en el uso de la tierra o pérdidas en la humedad del suelo, o bien, a condiciones que aumentan la vulnerabilidad de los sistemas.

Actualmente, las herramientas principales de simulación consideradas por el IPCC (IPCC, Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 2013) se caracterizan por ser “dióxido de carbono céntricos”, se basan en una aproximación de arriba hacia abajo (*top-down*), y se enfocan en el desarrollo y aplicación de herramientas multidecadales, globales del clima, que consideran respuestas cuasi-lineales dominadas por la concentración de GEI en la atmósfera. Los resultados de estos modelos han sido utilizados, mediante diversos procedimientos, para construir escenarios de impacto a nivel regional y local en los sistemas socioambientales, en el proceso denominado reducción de escala (*downscaling*) (Pielke Sr., y otros, 2012).

Estos métodos de *downscaling* que producen altas resoluciones espaciales, y que alguna vez fueron generalmente aceptados, han sido puestos en interdicto por muchos de los investigadores que participaron en su construcción. Las razones son múltiples, los modelos climáticos regionales son muy dependientes de las condiciones laterales de frontera y del ruido de los modelos globales parentales, errores en los modelos globales, de baja resolución, son retenidos y amplificadas en los modelos regionales de alta resolución. Por otro lado, la mayoría de los métodos son incapaces de simular variables climáticas locales de primer o segundo orden, por lo que son condicionados para considerar valores promedio,

pese a la gran relevancia de estas variables. Por ejemplo, el gradiente espacial de precipitación no puede ser modelado en forma adecuada por métodos de *downscaling*, pues estos no permiten una evaluación precisa de las corrientes de flujo y otros elementos ambientales (rugosidad del terreno, albedo, topografía, humedad del suelo), muy importantes en escalas locales.

Los errores fundamentales tienen que ver con la incompreensión de la naturaleza de los sistemas caóticos, cualquier descripción elemental de ellos debe partir de su definición preliminar:

Consideremos, como ejemplo, al Sistema Climático; éste, como todo sistema, es una unidad compuesta por subsistemas, interconectados y abiertos, lo que permite flujos de masa, energía y *momentum* entre ellos. Considerando que la Tierra es un sistema cerrado, estos flujos circulan en ella en forma de ciclos, con excepción de la energía, por lo que las salidas vuelven a entrar en el sistema convirtiéndose en entradas, creando rizados de retroalimentación y cadenas de rizados de retroalimentación.

Eventualmente, cada subsistema afecta a la respuesta del resto de los subsistemas y del sistema en su conjunto. Esta diafonía² entre los elementos del sistema climático genera las relaciones desproporcionadas entre entradas y salidas típicas de un sistema no lineal. La frase “el todo es más que la suma de sus partes” pone de relieve el hecho de que el principio de superposición no aplica en sistemas no lineales como los ecosistemas o el clima. En marcado contraste, en algunos sistemas físicos la superposición es válida y “El todo es exactamente igual a la suma de sus partes”. Cuando el sistema es lineal no hay diafonía, cada parte se comporta como si fuera un elemento independiente (Rial, y otros, 2004).

Para definir un sistema como no lineal se deben considerar cuando menos tres características observables importantes:

Mientras que los sistemas lineales típicamente muestran un movimiento suave y regular en el espacio y el tiempo que se puede describir en términos de funciones

² Cuando parte de las señales presentes en un subsistema, considerado perturbador, aparece en el otro, considerado perturbado.

continuas, los sistemas no lineales a menudo experimentan transiciones bruscas, incluso en presencia de variables conductoras con tasas de incremento constantes. Estas transiciones usualmente resultan de cruzar umbrales de equilibrio inestables.

La respuesta de un sistema lineal a pequeños cambios en sus variables de estado inducidos por las variables conductoras es generalmente suave y proporcional al estímulo. En contraste, los sistemas no lineales se comportan de tal forma que unos cambios pequeños en sus variables de estado pueden causar grandes cambios cualitativos en el comportamiento resultante, este comportamiento es denominado caótico, y se presenta, por ejemplo, en los sistemas dinámicos de fluidos atmosféricos.

Después de que una perturbación transitoria se disipa, la frecuencia de un sistema lineal oscilatorio siempre es igual a la del forzante, mientras que la respuesta espectral de un sistema no lineal a un forzamiento oscilatorio externo generalmente produce frecuencias que no están presentes en el forzamiento (por ejemplo, sonidos de combinación), el acoplamiento de fase y frecuencia, sincronización y otros indicios de no linealidad menudo se detectan en los datos climáticos en el pasado.

La no linealidad da lugar a estructuras y eventos fortuitos en la forma de abruptas transiciones a través de umbrales y oscilaciones inesperadas, lo que produce respuestas caóticas. Pero el sistema climático no sólo es caótico, es también "complejo", en el sentido de que se compone de muchas partes cuyas interacciones pueden, a través de un proceso todavía no dilucidado, provocar la auto-organización espontánea y la aparición de fenómenos colectivos (propiedades emergentes), coherentes, que pueden ser descritos sólo a niveles más altos que los de los organismos individuales (Goldenfeld y Kadanoff, 1999; citados por Rial, y otros, 2004). Por lo tanto, es útil establecer que la conducta caótica y la complejidad son diferentes aspectos de la respuesta no lineal.

La comprensión sobre cómo se manifiestan en diferentes circunstancias las no-linealidades en el Sistema Climático es pobre, y bajo el presente estado del

conocimiento, no podemos incluir en los modelos disponibles: las erupciones volcánicas o los cambios de largo término en la radiación solar, posiblemente por esta razón los modelos multidecadales globales son incapaces de simular algunos eventos de la circulación atmosférica como: la Oscilación Decadal del Pacífico, (PDO); la Oscilación Multidecadal del Atlántico (AMO), o el ENOS. “Pero son estos eventos climáticos atmósfera/océano los que determinan los patrones de tiempo regionales”, como las sequías (Pielke Sr., y otros, 2012, pág. 347).

Las proyecciones obtenidas con los modelos del IPCC son de resolución gruesa, mientras que los impactos importantes para aplicaciones de planeación deben ser de resolución fina, representados en escalas aplicables a nivel local, por ejemplo, los modelos climáticos pueden pronosticar la magnitud de una sequía a escala regional, pero no la intensidad del evento que es la medida de la fuerza con que éste se manifiesta en un sitio dado, lo que depende de las condiciones locales.

El caso del cambio climático es tan caótico y complejo, que diversos autores proponen una nueva perspectiva de investigación *bottom-up*, desde lo local, basada en la evaluación de la vulnerabilidad de diferentes sistemas estratégicos a las amenazas ambientales y sociales. Se entiende la vulnerabilidad como el conjunto de condiciones que presentan las comunidades y personas, que se derivan de contextos históricos y actuales, culturales, sociales, ambientales, políticos y económicos. En este sentido, los grupos vulnerables no sólo corren riesgo porque están expuestos a un peligro, sino como resultado de la marginación; de las relaciones de poder y producción; de la organización; y el acceso a los recursos.

Por lo tanto, los efectos de un desastre sobre cualquier persona o comunidad, son resultado de un complejo conjunto de variables conductoras y condiciones interactuantes. Es importante tener en cuenta que las personas y las comunidades no son sólo las víctimas de un desastre, sino también los gestores activos de la vulnerabilidad (IPCC, Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 2013). Por lo tanto, un enfoque

integrado y multidimensional resulta esencial para la comprensión de las causas de la vulnerabilidad.

Lentamente, la comunidad de investigadores del cambio climático se convence de que es imperativo adoptar el paradigma del Caos y la Complejidad si se quiere avanzar en la evaluación de la de la realidad (J. Rial,, P. Cox, H. Held, N. de Noblet-Ducoudre, R. Prinn, J. Reynolds, J.D. Salas R.A. Pielke Sr., M Beniston, M. Claussen, J. Canadell, 2004), pero esto sólo es posible con un enfoque basado más en la vulnerabilidad y las particularidades específica de un paisaje, en particular su historia, y menos en las amenazas globales, esta aproximación se conoce como *bottom-up* (de abajo hacia arriba), o de enfoque local y será utilizada en el presente estudio.

Las bondades de las aproximaciones de carácter local para evaluar el cambio climático son evidentes, es fundamental establecer las escalas temporales y espaciales sobre las que estudio de vulnerabilidad puede aplicar y en el caso de los efectos del cambio climático, la pérdida de biodiversidad o los cambios en el uso de la Tierra, un proyecto de investigación aplicable a toda la Tierra es imposible de realizar (Sauer, 1925).

Las estrategias de mitigación o adaptación al cambio global sólo pueden ser exitosas aplicándose en el ámbito particular de cada región; es, por tanto, fundamental, al identificar los elementos que deben considerarse de la variante expresión de los ecosistemas en las diferentes partes de la superficie de la tierra; y preferir las ventajas que nos da el conocimiento sintético de un paisaje o unidad funcional de extensión limitada, sobre la ciencia general de la tierra. Como ha señalado (Cronon, 1990) es más útil poseer un conjunto de herramientas que permitan identificar, en una situación histórica específica, las relaciones más importantes entre una comunidad y su territorio. Iniciando en un nivel general de indagación de tipo inductivo, que analizar la biosfera como un todo.

En suma, el clima es multiestable y muy dinámico, con el comportamiento propio de un sistema constituido fundamentalmente por fluidos, influido por diversos factores, atmosféricos, oceánicos, continentales y los relacionados con la criósfera

y el uso de la tierra. Esta dinámica compleja y caótica del clima está determinada tanto por forzamientos internos como externos, es decir, por situaciones que modifican significativamente alguno de los parámetros meteorológicos. Esto hace que la predicción climática resulte en un proceso muy complicado y limitado en el tiempo (en teoría, las predicciones útiles sobre el estado de la atmósfera se limitan a dos semanas, en la práctica el plazo real es menor), este problema se acentúa cuando no se cuenta con la suficiente información.

2.3 MARCO NORMATIVO

El PEACC de San Luis Potosí es un instrumento alineado con la normativa internacional y nacional en materia de cambio climático. Con la finalidad de garantizar que el instrumento sea congruente con los objetivos, propósitos y mandatos de leyes y regulaciones aplicables, se revisaron los alcances y competencias del instrumento atribuidas desde la Ley General de Cambio Climático.

2.3.1 Marco normativo internacional

Las preocupaciones internacionales sobre el cambio climático global provocaron, en abril del 2016, la firma del “Acuerdo de París” ratificado, al mes de junio del 2017, por 148 países, del total de 197 miembros, entre ellos México; los objetivos principales del acuerdo son:

1. Mejorar la aplicación de la Convención Marco de Cambio Climático, reforzando la respuesta mundial a la amenaza del cambio climático, en el contexto del desarrollo sostenible y de los esfuerzos por erradicar la pobreza, y para ello:

a) Mantener el aumento de la temperatura media mundial muy por debajo de 2 °C con respecto a los niveles preindustriales, y proseguir los esfuerzos para limitar ese aumento de la temperatura a 1,5 °C con respecto a los niveles preindustriales, reconociendo que ello reduciría considerablemente los riesgos y los efectos del cambio climático;

b) Aumentar la capacidad de adaptación a los efectos adversos del cambio climático y promover la resiliencia al clima y un desarrollo con bajas emisiones de

gases de efecto invernadero, de un modo que no comprometa la producción de alimentos; y

c) Situar los flujos financieros en un nivel compatible con una trayectoria que conduzca a un desarrollo resiliente al clima y con bajas emisiones de gases de efecto invernadero.

2. Para cumplir el objetivo a largo plazo referente a la temperatura, las Partes se proponen lograr que las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero alcancen su punto máximo lo antes posible, teniendo presente que las Partes que son países en desarrollo tardarán más en lograrlo, y a partir de ese momento reducir rápidamente las emisiones de gases de efecto invernadero, de conformidad con la mejor información científica disponible, para alcanzar un equilibrio entre las emisiones antropógenas por las fuentes y la absorción antropógena por los sumideros en la segunda mitad del siglo, sobre la base de la equidad y en el contexto del desarrollo sostenible y de los esfuerzos por erradicar la pobreza.

3. Cada Parte deberá preparar, comunicar y mantener las sucesivas contribuciones determinadas a nivel nacional que tenga previsto efectuar. Las Partes procurarán adoptar medidas de mitigación internas, con el fin de alcanzar los objetivos de esas contribuciones.

4. Al comunicar sus contribuciones determinadas a nivel nacional, todas las Partes deberán proporcionar la información necesaria a los fines de la claridad, la transparencia y la comprensión.

5. Cada Parte deberá comunicar una contribución determinada a nivel nacional cada cinco años.

6. Las Partes deberían adoptar medidas para conservar y aumentar, según corresponda, los sumideros y depósitos de gases de efecto invernadero, incluidos los bosques.

7. Las Partes reconocen la importancia de disponer de enfoques no relacionados con el mercado que sean integrados, holísticos y equilibrados y que les ayuden a

implementar sus contribuciones determinadas a nivel nacional, en el contexto del desarrollo sostenible y de la erradicación de la pobreza y de manera coordinada y eficaz, entre otras cosas mediante la mitigación, la adaptación, la financiación, la transferencia de tecnología y el fomento de la capacidad.

8. Por el presente, las Partes establecen el objetivo mundial relativo a la adaptación, que consiste en aumentar la capacidad de adaptación, fortalecer la resiliencia y reducir la vulnerabilidad al cambio climático con miras a contribuir al desarrollo sostenible y lograr una respuesta de adaptación adecuada en el contexto del objetivo referente a la temperatura.

9. Las Partes reconocen la importancia de evitar, reducir al mínimo y afrontar las pérdidas y los daños relacionados con los efectos adversos del cambio climático, incluidos los fenómenos meteorológicos extremos y los fenómenos de evolución lenta, y la contribución del desarrollo sostenible a la reducción del riesgo de pérdidas y daños.

10. Las Partes comparten una visión a largo plazo sobre la importancia de hacer plenamente efectivos el desarrollo y la transferencia de tecnología para mejorar la resiliencia al cambio climático y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero.

11. Las Partes deberán cooperar en la adopción de las medidas que correspondan para mejorar la educación, la formación, la sensibilización y participación del público y el acceso público a la información sobre el cambio climático, teniendo presente la importancia de estas medidas para mejorar la acción en el marco del presente Acuerdo.

12. Con el fin de fomentar la confianza mutua y de promover la aplicación efectiva, por el presente se establece un marco de transparencia reforzado para las medidas y el apoyo, dotado de flexibilidad para tener en cuenta las diferentes capacidades de las Partes y basado en la experiencia colectiva.

2.3.2 Marco normativo nacional

El Gobierno Federal, en cumplimiento de los acuerdos internacionales firmados, promulgó la Ley General de Cambio Climático, el 6 de junio de 2012, misma que establece dentro de su articulado lo siguiente:

Que la ley es de orden público, interés general y observancia en todo el territorio nacional y las zonas sobre las que la nación ejerce su soberanía y jurisdicción y establece disposiciones para enfrentar los efectos adversos del cambio climático.

Establece que la ley tiene por objeto:

1. Garantizar el derecho a un medio ambiente sano y establecer la concurrencia de facultades de la federación, las entidades federativas y los municipios en la elaboración y aplicación de políticas públicas para la adaptación al cambio climático y la mitigación de emisiones de gases y compuestos de efecto invernadero;
2. Regular las emisiones de gases y compuestos de efecto invernadero para lograr la estabilización de sus concentraciones en la atmósfera a un nivel que impida interferencias antropógenas peligrosas con el sistema climático, considerando en su caso, lo previsto por el artículo 2o. de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático y demás disposiciones derivadas de la misma;
3. Regular las acciones para la mitigación y adaptación al cambio climático;
4. Reducir la vulnerabilidad de la población y los ecosistemas del país frente a los efectos adversos del cambio climático, así como crear y fortalecer las capacidades nacionales de respuesta al fenómeno;
5. Fomentar la educación, investigación, desarrollo y transferencia de tecnología e innovación y difusión en materia de adaptación y mitigación al cambio climático;
6. Establecer las bases para la concertación con la sociedad, y
7. Promover la transición hacia una economía competitiva, sustentable y de bajas emisiones de carbono.

La misma Ley establece en su Artículo 8°. que corresponden a las entidades federativas las siguientes atribuciones:

I. Formular, conducir y evaluar la política estatal en materia de cambio climático en concordancia con la política nacional;

II. Formular, regular, dirigir e instrumentar acciones de mitigación y adaptación al cambio climático, de acuerdo con la Estrategia Nacional y el Programa en las materias siguientes:

a) Preservación, restauración, manejo y aprovechamiento sustentable de los ecosistemas y recursos hídricos de su competencia;

b) Seguridad alimentaria;

c) Agricultura, ganadería, desarrollo rural, pesca y acuacultura;

d) Educación;

e) Infraestructura y transporte eficiente y sustentable;

f) Ordenamiento territorial de los asentamientos humanos y desarrollo urbano de los centros de población en coordinación con sus municipios o delegaciones;

g) Recursos naturales y protección al ambiente dentro de su competencia;

h) Residuos de manejo especial;

i) Protección civil, y

j) Prevención y atención de enfermedades derivadas de los efectos del cambio climático;

III. Incorporar en sus instrumentos de política ambiental, criterios de mitigación y adaptación al cambio climático;

IV. Elaborar e instrumentar su programa en materia de cambio climático, promoviendo la participación social, escuchando y atendiendo a los sectores público, privado y sociedad en general;

V. Establecer criterios y procedimientos para evaluar y vigilar el cumplimiento del programa estatal en la materia y establecer metas e indicadores de efectividad e impacto de las acciones de mitigación y adaptación que implementen;

- VI.** Gestionar y administrar fondos locales para apoyar e implementar acciones en la materia;
- VII.** Celebrar convenios de coordinación con la federación, entidades federativas y los municipios, para la implementación de acciones para la mitigación y adaptación;
- VIII.** Fomentar la investigación científica y tecnológica, el desarrollo, transferencia y despliegue de tecnologías, equipos y procesos para la mitigación y adaptación al cambio climático;
- IX.** Desarrollar estrategias, programas y proyectos integrales de mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero para impulsar el transporte eficiente y sustentable, público y privado;
- X.** Realizar campañas de educación e información para sensibilizar a la población sobre los efectos adversos del cambio climático;
- XI.** Promover la participación corresponsable de la sociedad en la adaptación y mitigación, de conformidad con lo dispuesto en las leyes locales aplicables;
- XII.** Elaborar e integrar, en colaboración con el INECC, la información de las categorías de fuentes emisoras de su jurisdicción, para su incorporación al Inventario Nacional de Emisiones y en su caso, integrar el inventario estatal de emisiones, conforme a los criterios e indicadores elaborados por la federación en la materia;
- XIII.** Elaborar, publicar y actualizar el atlas estatal de riesgo, en coordinación con sus municipios o delegaciones, conforme a los criterios emitidos por la federación;
- XIV.** Establecer las bases e instrumentos para promover el fortalecimiento de capacidades institucionales y sectoriales para enfrentar al cambio climático;
- XV.** Diseñar y promover el establecimiento y aplicación de incentivos que promuevan la ejecución de acciones para el cumplimiento del objeto de la ley;
- XVI.** Convenir con los sectores social y privado la realización de acciones e inversiones concertadas hacia el cumplimiento de su programa;
- XVII.** Gestionar y administrar fondos estatales para apoyar e implementar las acciones en la materia;

XVIII. Vigilar, en el ámbito de su competencia, el cumplimiento de esta ley y los demás ordenamientos que de ella se deriven, así como sancionar su incumplimiento,

XIX. Las demás que les señalen esta ley y otras disposiciones jurídicas aplicables.

La Ley General de Cambio Climático (LGCC) instituye que los programas de las Entidades Federativas en materia de cambio climático establecerán las estrategias, políticas, directrices, objetivos, acciones, metas e indicadores que se implementarán y cumplirán durante el periodo de gobierno correspondiente, de conformidad con la Estrategia Nacional, el Programa, las disposiciones de la Ley y las demás disposiciones que de ella deriven.

Los programas de acción ante el cambio climático de las Entidades Federativas se elaborarán al inicio de cada administración, procurando siempre la equidad de género y la representación de las poblaciones más vulnerables al cambio climático, indígenas, personas con discapacidad, académicos e investigadores.³

En forma concreta, el Artículo 72 de la LGCC establece los elementos mínimos que deben incluir los programas de las Entidades Federativas, los cuales son:

- I. La planeación con perspectiva de largo plazo, de sus objetivos y acciones, en congruencia con la Estrategia Nacional y el Programa;
- II. Los escenarios de cambio climático y los diagnósticos de vulnerabilidad y de capacidad de adaptación;
- III. Las metas y acciones para la mitigación y adaptación en materia de su competencia señaladas en la Ley y las demás disposiciones que de ella deriven;
- IV. La medición, el reporte y la verificación de las medidas de adaptación y mitigación, y
- V. Los demás que determinen sus disposiciones legales en la materia.

En esta misma materia el Gobierno Federal en su Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018, establece las siguientes consideraciones:

³ Artículo 71 de la Ley general de Cambio Climático.

Durante la última década, los efectos del cambio climático y la degradación ambiental se han intensificado. Las sequías, inundaciones y ciclones entre 2000 y 2010 han ocasionado alrededor de 5000 muertes, 13 millones de afectados y pérdidas económicas por 250 000 millones de pesos (...) En este sentido, México ha demostrado un gran compromiso con la agenda internacional de medio ambiente y desarrollo sustentable, y participa en más de 90 acuerdos y protocolos vigentes, siendo líder en temas como cambio climático.

VI.4. México Próspero

Estrategia 4.4.3. Fortalecer la política nacional de cambio climático y cuidado al medio ambiente para transitar hacia una economía competitiva, sustentable, resiliente y de bajo carbono.

Líneas de acción

- Ampliar la cobertura de infraestructura y programas ambientales que protejan la salud pública y garanticen la conservación de los ecosistemas y recursos naturales.
- Desarrollar las instituciones e instrumentos de política del Sistema Nacional de Cambio Climático.
- Acelerar el tránsito hacia un desarrollo bajo en carbono en los sectores productivos primarios, industriales y de la construcción, así como en los servicios urbanos, turísticos y de transporte.
- Promover el uso de sistemas y tecnologías avanzados, de alta eficiencia energética y de baja o nula generación de contaminantes o compuestos de efecto invernadero.
- Impulsar y fortalecer la cooperación regional e internacional en materia de cambio climático, biodiversidad y medio ambiente.
- Lograr un manejo integral de residuos sólidos, de manejo especial y peligrosos, que incluya el aprovechamiento de los materiales que resulten y minimice los riesgos a la población y al medio ambiente.

- Realizar investigación científica y tecnológica, generar información y desarrollar sistemas de información para diseñar políticas ambientales y de mitigación y adaptación al cambio climático.
- Lograr el ordenamiento ecológico del territorio en las regiones y circunscripciones políticas prioritarias y estratégicas, en especial en las zonas de mayor vulnerabilidad climática.
- Continuar con la incorporación de criterios de sustentabilidad y educación ambiental en el Sistema Educativo Nacional, y fortalecer la formación ambiental en sectores estratégicos.
- Contribuir a mejorar la calidad del aire, y reducir emisiones de compuestos de efecto invernadero mediante combustibles más eficientes, programas de movilidad sustentable y la eliminación de los apoyos ineficientes a los usuarios de los combustibles fósiles.
- Lograr un mejor monitoreo de la calidad del aire mediante una mayor calidad de los sistemas de monitoreo existentes y una mejor cobertura de ciudades.

El Gobierno Federal en cumplimiento con los acuerdos internacionales firmados por México y lo que marca la Ley General de Cambio Climático; publicó en el Diario Oficial de la Federación en el año 2013, la Estrategia Nacional de Cambio Climático versión 10-20-40, estableciendo cuatro pilares rectores que son: a) Acciones Transversales, Articuladas, Coordinadas e Incluyentes; b) Instrumentos Económicos, Fiscales y Financiero; c) Fortalecimiento de Capacidades Institucionales y d) Investigación e Innovación Tecnológica, instrumento que dentro de su estructura y como su nombre lo dice establece las estrategias a nivel Federal con relación al cambio climático y a la LGCC⁴. Posteriormente, el año 2014, publicó el Programa Especial de Cambio Climático.

⁴ Ley General del Cambio Climático

2.3.3 Marco normativo estatal

El Gobierno de San Luis Potosí, en uso de sus competencias y atribuciones, publicó La Ley de Cambio Climático para el Estado de San Luis Potosí, en el periódico oficial del estado, el 27 de agosto del 2015, en la que se establece:

- I. El “Programa Estatal de Acción ante el Cambio Climático es el instrumento que contempla, en concordancia con el marco estatal de planeación, en forma ordenada y coherente, estrategias, políticas, directrices y tácticas en tiempo y espacio, así como los instrumentos, mecanismos y acciones relacionadas al cambio climático en el ámbito estatal”;⁵
- II. Se considera de utilidad pública la formulación, coordinación, expedición, aplicación y evaluación del Programa Estatal de Acción ante el Cambio Climático.
- III. Corresponde al Ejecutivo del Estado la formulación, expedición, aplicación y evaluación del Programa Estatal de Acción ante el Cambio Climático, así como la atención de los demás asuntos que afecten el ambiente en el territorio de la Entidad.
- IV. El Ejecutivo del Estado se coordinará con los ayuntamientos de los municipios de la Entidad, con pleno respeto a su autonomía y atribuciones constitucionales, para que, en el Programa Estatal de Acción ante el Cambio Climático, se fijen los objetivos, metas, estrategias, prioridades, responsabilidades y tiempos de ejecución, sobre las acciones de mitigación y de adaptación al cambio climático, en concordancia con la Estrategia Estatal.
- V. El programa estatal de acción ante el cambio climático se elaborará al inicio de cada administración, procurando siempre la equidad de género, y la representación de la población más vulnerable al cambio climático.
- VI. La “Estrategia Estatal ante el Cambio Climático” es el instrumento rector de la política estatal en el mediano y largo plazo, para enfrentar los efectos del

⁵ Artículo 3° fracción XV de la Ley de Cambio Climático para el Estado de San Luis Potosí.

cambio climático y transitar hacia una economía competitiva, sustentable y de bajas emisiones de carbono.

- VII. La Secretaría de Ecología y Gestión Ambiental del Gobierno del estado de San Luis Potosí elaborará la Estrategia Estatal de Cambio Climático, en su elaboración se considerará la opinión del Consejo Consultivo de Cambio. Una vez finalizada la Estrategia será aprobada por la Comisión Intersecretarial correspondiente, para después ser publicada en el Periódico Oficial del Estado.
- VIII. En la elaboración de la Estrategia Estatal se promoverá la participación y consulta de los sectores, social, y privado, con el propósito de que la población exprese sus opiniones para su elaboración, actualización y ejecución, en los términos previstos por la Ley de Planeación del Estado y Municipios del Estado y demás disposiciones aplicables.⁶

Por otro lado, en un esfuerzo por reforzar la actuación del gobierno estatal en materia de cambio climático, el 24 de enero de 2015, se modificó la Ley Orgánica de la Administración Pública de SLP, para incorporar a las atribuciones de la Secretaría de Ecología y Gestión Ambiental la siguiente: “Diseñar, instrumentar y evaluar la política estatal en materia de cambio climático en concordancia con la política nacional”.

En esta misma materia el Gobierno del estado de San Luis Potosí en su Plan Estatal de Desarrollo 2015-2021, publicado en el Periódico Oficial del Estado el 23 de marzo del 2016, establece las siguientes consideraciones referentes al cambio climático:

Eje Rector 3: San Luis Sustentable

Vertiente 3.4. Cambio Climático y Energías Renovables

Cambio climático

Estudios de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí sostienen que el clima del Estado se ha modificado en los últimos 30 años. La temperatura máxima se ha

⁶ Artículo 38 de la Ley de Cambio Climático para el Estado de San Luis Potosí.

incrementado significativamente, y también se registran variaciones en la constante de precipitación pluvial.

Actualmente operan en la zona Metropolitana de San Luis Potosí cuatro estaciones de monitoreo de calidad del aire. A pesar de no cubrir la totalidad del territorio potosino, el resultado de las tendencias de los contaminantes más relevantes, proporcionan información que permite diseñar programas para atender contingencias.

Unos de los objetivos es el mantenimiento e incremento de la red de monitoreo para fortalecer la cobertura en las regiones, y así conocer problemáticas específicas para una orientación en la política pública de cambio climático en la entidad. Asimismo, para contribuir en la reducción de emisiones de compuestos de efecto invernadero, entre los que destacan el bióxido de carbono, el hollín (carbono negro) y óxidos de nitrógeno de las fuentes móviles, es fundamental implementar el programa de verificación vehicular, así como la difusión permanente a la ciudadanía de la importancia y beneficios a la salud pública con la aplicación del programa.

El calentamiento del planeta registrado en los últimos 50 años es atribuible a los efectos de las actividades humanas, de acuerdo con el Panel Intergubernamental de Expertos en Cambio Climático de la ONU. La emisión de bióxido de carbono (CO₂) derivada del consumo de combustibles fósiles es responsable de la mayor parte del incremento de la concentración atmosférica de ese gas, considerado el más importante de los gases de efecto invernadero, que se caracteriza por una elevada persistencia en la atmósfera que varía entre cinco y doscientos años.

El reto para la sociedad y gobierno es asumir plenamente las responsabilidades y costos de un aprovechamiento duradero de los recursos naturales renovables y del medio ambiente que permita mejorar la calidad de vida para todos.

El Estado, por su ubicación, tiene un gran potencial para la generación de energía eólica y solar, por lo que es necesario promover las inversiones para producir energía limpia a partir de fuentes renovables. Asimismo, se requiere continuar con las acciones de eficiencia energética que se vienen realizando en el Estado en los últimos años.

Otros elementos que se deben potenciar son el ordenamiento ecológico para regular el uso del suelo y las actividades productivas, y el cumplimiento por parte de las empresas de sus certificaciones de Industria Limpia, Calidad Ambiental, Liderazgo Ambiental o Calidad Ambiental Turística.

VERTIENTE 3.4. CAMBIO CLIMÁTICO Y ENERGÍAS RENOVABLES

OBJETIVO A. Elaborar instrumentos técnicos que orienten las políticas estatales sobre el Cambio Climático.

ESTRATEGIA A.1 Establecer la agenda estatal de cambio climático, con la participación de los municipios y de los sectores de la sociedad.

LÍNEAS DE ACCIÓN

- Elaborar el Programa Estatal de Cambio Climático.
- Desarrollar planes de acción en coordinación con los municipios y la sociedad para enfrentar los desafíos del cambio climático.
- Impulsar la investigación sobre cambio climático.

OBJETIVO B. Mitigar los efectos del cambio climático con acciones que aumenten las oportunidades de desarrollo, la innovación tecnológica y el uso de energías limpias.

ESTRATEGIA B.1 Actualizar y supervisar el inventario de emisiones de gases de efecto invernadero e impulsar las acciones orientadas a mitigar los efectos del cambio climático.

LÍNEAS DE ACCIÓN

- Fomentar el uso eficiente de energía en los ámbitos industrial, transporte, agrícola y doméstico.
- Mejorar la atracción de inversiones y promover el aprovechamiento de recursos naturales para la producción de energías renovables, principalmente eólica, fotovoltaica y por biomasa.
- Desarrollar mecanismos para incentivar la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, y promover sistemas de transporte con consumo energético limpio.
- Implementar un programa general de ahorro de energía.

ESTRATEGIA B.2 Fomentar el uso de registros e inventarios municipales para consolidar un sistema de información estatal en materia de emisiones de gases de efecto invernadero.

LÍNEAS DE ACCIÓN

- Coordinar acciones con los municipios para llevar registros y monitoreo sobre la calidad del aire.
- Elaborar y actualizar un inventario estatal y municipal de emisiones de gases de efecto invernadero.
- Llevar a cabo campañas de difusión sobre los impactos, vulnerabilidad y medidas de adaptación al cambio climático.
- Promover a través de la educación, capacitación y comunicación ambiental, actitudes responsables frente al cambio climático.

2.4 ANTECEDENTES

En la elaboración de la versión 2017 del PEACC-SLP participaron especialistas de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí, del Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica A.C.; del Colegio de San Luis A.C., y de la Universidad Autónoma de México, los cuales, en primer término, diagnosticaron las condiciones de vulnerabilidad y la capacidad de adaptación y mitigación de los diferentes sectores en las seis regiones fisiográficas que conforman a la entidad federativa.

2.4.1 Antecedentes internacionales

En el periodo 1950-80 se documentaron tendencias que establecían, que las concentraciones de dióxido de carbono en la atmósfera estaban aumentando rápidamente. También se registraron datos que demostraban que la temperatura global promedio del planeta se incrementaba rápidamente. En forma simultánea, investigaciones realizadas sobre núcleos de hielo, sedimentos y el registro fósil, revelaron que el sistema climático ha sufrido cambios intensos en el pasado, algunos catastróficos, como la “Extinción Masiva del Pérmico-Triásico”, la mayor extinción que ha ocurrido en la Tierra, y que se presentó hace aproximadamente 250 millones de años, en este periodo desaparecieron entre el 70 y el 95% de las

especies del planeta, estos descubrimientos articulados parecían demostrar que el clima podía presentar oscilaciones dramáticas y provocar crisis ambientales.

La preocupación internacional provocó que en 1988 se creara el Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés) por iniciativa de la Organización Meteorológica Mundial y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). En 1990 el IPCC presentó un primer informe en el que se documentaba que el calentamiento atmosférico de la Tierra era real y se realizaba un llamado urgente a la comunidad de naciones para evitarlo. (United Nations, 2017)

Las conclusiones del IPCC alentaron a los gobiernos a aprobar la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. La Convención fue constituida en la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo que se celebró en Río de Janeiro, conocida como Cumbre para la Tierra (United Nations, 2017).

Hoy en día el IPCC tiene una función específicamente establecida. No realiza investigaciones científicas propias, en cambio, examina las investigaciones realizadas en todo el mundo, publica informes periódicos de evaluación (hasta ahora han sido cinco y el sexto se encuentra en proceso) y elabora informes especiales y documentos técnicos. (United Nations, 2017)

El IPCC afirmó en el “Resumen para responsables de políticas: Cambios observados en el sistema climático” (IPCC, IPCC fifth Assesment on Climate Change, 2014) las siguientes aseveraciones:

- “1.- Cada uno de los tres últimos decenios ha sido sucesivamente más cálido en la superficie de la Tierra que cualquier decenio anterior desde 1850. En el hemisferio norte, es probable que 1983-2012 fuera el período de 30 años más cálido de los últimos 1400 años (nivel de confianza medio).
- 2.- El calentamiento del océano domina sobre el incremento de la energía almacenada en el sistema climático y representa más del 90% de la energía acumulada entre 1971 y 2010 (nivel de confianza alto).

3.- En los últimos dos decenios, los mantos de hielo de Groenlandia y la Antártida han ido perdiendo masa, los glaciares han continuado menguando en casi todo el mundo y el hielo del Ártico y el manto de nieve en primavera en el hemisferio norte han seguido reduciéndose en extensión (nivel de confianza alto).

4.- Desde mediados del siglo XIX, el ritmo de la elevación del nivel del mar ha sido superior a la media de los dos milenios anteriores (nivel de confianza alto). Durante el período 1901-2010, el nivel medio global del mar se elevó 0,19 metros [0,17 a 0,21 metros].

5.- En los últimos 800 000 años, las concentraciones atmosféricas de dióxido de carbono, metano y óxido nitroso han aumentado a niveles sin precedentes. Las concentraciones de dióxido de carbono han aumentado en un 40% desde la era preindustrial debido, en primer lugar, a las emisiones derivadas de los combustibles fósiles y, en segundo lugar, a las emisiones netas derivadas del cambio de uso del suelo. Los océanos han absorbido alrededor del 30% del dióxido de carbono antropógeno emitido, provocando su acidificación.

6.- El forzamiento radiativo total es positivo y ha dado lugar a la absorción de energía por el sistema climático. La principal contribución al forzamiento radiativo total proviene del aumento en la concentración de CO₂ en la atmósfera que se viene produciendo desde 1750.

7.- La influencia humana en el sistema climático es clara. Es evidente a tenor de las crecientes concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera, el forzamiento radiativo positivo y el calentamiento observado, y gracias a la comprensión del sistema climático.

8.- Los modelos climáticos han mejorado desde el Cuarto Informe de Evaluación. Los modelos reproducen patrones y tendencias de la temperatura en superficie a escala continental observados a lo largo de muchos decenios, en particular el calentamiento más rápido producido

desde mediados del siglo XX y el enfriamiento que se produce inmediatamente tras las grandes erupciones volcánicas (nivel de confianza muy alto).

9.- Los estudios basados en observaciones y modelos de cambio de temperaturas, retroalimentaciones climáticas y modificaciones del balance energético de la Tierra combinados ofrecen confianza sobre la magnitud del calentamiento mundial como respuesta al forzamiento pasado y futuro.

10.- Se ha detectado la influencia humana en el calentamiento de la atmósfera y el océano, en alteraciones en el ciclo global del agua, en reducciones de la cantidad de nieve y hielo, en la elevación media mundial del nivel del mar y en cambios en algunos fenómenos climáticos extremos. Esta evidencia de la influencia humana es mayor desde que se elaborara el Cuarto Informe de Evaluación. Es sumamente probable que la influencia humana haya sido la causa dominante del calentamiento observado desde mediados del siglo XX.

11.- En el futuro las emisiones continuas de gases de efecto invernadero causarán un mayor calentamiento y nuevos cambios en todos los componentes del sistema climático. Para contener el cambio climático, será necesario reducir de forma sustancial y sostenida las emisiones de gases de efecto invernadero.

12.- Es probable que para finales del siglo XXI, la temperatura global en superficie sea superior en 1,5 °C a la del período entre 1850 y 1900 para todos los escenarios considerados de trayectorias de concentración representativas (RCP), excepto para el escenario RCP2,6. Es probable que esa temperatura sea superior en 2 °C para los escenarios RCP6,0 y RCP8,5, y más probable que improbable que sea superior en 2 °C para el escenario RCP4,5. El calentamiento continuará después de 2100 en todos los escenarios RCP, excepto para el RCP2,6. El calentamiento continuará mostrando una variabilidad entre interanual y decenal y no será uniforme entre las regiones.

13.- Los cambios que se producirán en el ciclo global del agua, en respuesta al calentamiento durante el siglo XXI, no serán uniformes. Se acentuará el contraste en las precipitaciones entre las regiones húmedas y secas y entre las estaciones húmedas y secas, si bien podrá haber excepciones regionales.

14.- Los océanos mundiales seguirán calentándose durante el siglo XXI. El calor penetrará desde la superficie hasta las capas profundas de los océanos y afectará a la circulación oceánica.

15.- Es muy probable que la cobertura de hielo del Ártico siga menguando y haciéndose más delgada, y que el manto de nieve en primavera en el hemisferio norte disminuya a lo largo del siglo XXI a medida que vaya aumentando la temperatura media global en superficie. El volumen global de los glaciares continuará reduciéndose.

16.- El nivel medio global del mar seguirá aumentando durante el siglo XXI. En todos los escenarios de trayectorias de concentración representativas (RCP), es muy probable que el ritmo de elevación del nivel del mar sea mayor que el observado durante el período 1971-2010, debido al mayor calentamiento de los océanos y a la mayor pérdida de masa de los glaciares y los mantos de hielo.

17.- El cambio climático afectará a los procesos del ciclo del carbono de un modo que agudizará el aumento de CO₂ en la atmósfera (nivel de confianza alto). Las nuevas incorporaciones de carbono en los océanos provocarán una mayor acidificación de estos.

18.- Las emisiones de CO₂ acumuladas determinarán en gran medida el calentamiento medio global en superficie a finales del siglo XXI y posteriormente. La mayoría de los aspectos del cambio climático perdurarán durante muchos siglos, incluso aunque pararan las emisiones de CO₂, lo que supone una notable inexorabilidad del cambio climático

durante varios siglos, debido a las emisiones de CO₂ pasadas, presentes y futuras”. (IPCC, IPCC fifth Assesment on Climate Change, 2014)

2.4.2 Antecedentes nacionales

A partir del año 1900 se han documentado, en la mayor parte del territorio nacional, tendencias climáticas de incremento en la temperatura superficial y cambios no significativos en la precipitación. Los escenarios de cambio climático, incluso los que aparentemente son de mayor resolución, aún no logran captar detalles espaciales finos en las tendencias en temperatura y precipitación. (Comisión Intersecretarial de Cambio Climático, 2012)

En el periodo 1901-2009, la temperatura superficial media de México presentó un incremento promedio menor de 2°C, aunque, en el noroeste han experimentado incrementos mayores, mientras en ciertas regiones del noreste, se observa una tendencia de enfriamiento. Es posible que estas tendencias correspondan a variabilidad natural, o a otros procesos que pueden provocar cambios climáticos locales como: contaminación regional por aerosoles, o cambios en el uso de suelo. (Comisión Intersecretarial de Cambio Climático, 2012)

En cambio, la precipitación muestra una tendencia promedio de incremento, aunque la señal es pequeña. Algunos sitios han experimentado aumentos superiores a la media nacional (región centro-sur), mientras otros presentan ligeras disminuciones (partes de Hidalgo y Veracruz). Es conveniente anotar que la amplitud de la variabilidad natural es mucho mayor que las tendencias registradas y, por tanto, las sequías siguen siendo tan intensas como en el pasado, así como los episodios de lluvias por encima de la media. (Comisión Intersecretarial de Cambio Climático, 2012)

Los escenarios de cambio climático por efecto del forzamiento radiativo, como los presentados por el IPCC AR4 sugieren que el incremento en la temperatura continuará, con un aumento de 2 a 4°C hacia finales de siglo, principalmente en el norte del país. (Comisión Intersecretarial de Cambio Climático, 2012)

Para la precipitación, la mayoría de los modelos IPCC AR4 sugieren una disminución en la precipitación por efectos del calentamiento global, pero estos datos son contrarios a lo observado en el último siglo. La realidad es que, aunque los modelos climáticos recientes han mejorado las simulaciones regionales del ciclo hidrológico, aún son muy deficientes para simular efectos de mesoescala, que son determinantes para el clima local, como los ciclones tropicales en el Golfo de México y el Mar Caribe. (Comisión Intersecretarial de Cambio Climático, 2012)

2.4.3 Antecedentes en el estado de San Luis Potosí

En un estudio previo realizado por la UASLP en el año 2009 se documentaron las siguientes tendencias:

Se encontró que en San Luis Potosí se presentan oscilaciones multidecadales en la precipitación y la temperatura; y cambios climáticos de carácter local impulsados por variaciones en los usos de la Tierra, que, en las condiciones actuales, parecen tener mayor influencia sobre el clima local, que el cambio global regulado por el aumento en la concentración de GEI.

Para el periodo 1980-2010, los resultados sugieren que el clima en San Luis Potosí se ha modificado de diversas maneras. Las tendencias interanuales en la precipitación (pp) son contrastantes (aumento y disminución) y localizadas. La temperatura máxima (Tx) se ha incrementado en gran parte de los sitios. Por razones obvias, la evapotranspiración potencial (ETPo) ha aumentado en forma similar.

El comportamiento de la precipitación y la evapotranspiración potencial han influido en el índice de Aridez (Ari), que aumentó en múltiples sitios en todas las regiones.

Se documentó que la variabilidad de la precipitación en SLP es extraordinaria, en más de la mitad del estado, en los años lluviosos hay de 4 a 10 veces más precipitación que en los secos, en el 13% de la circunscripción territorial la relación aumenta hasta valores de 10 a 1000 veces. Como consecuencia de lo anterior la

variación en la cantidad de lluvia recibida en el mismo mes a lo largo de los años sucesivos es muy grande.

Se puede concluir que el régimen mensual de precipitación, temperatura máxima y mínima y evapotranspiración se está modificando en gran parte del estado.

Utilizando las tendencias de cambio de usos de la tierra, precipitación y días con temperaturas máximas mayores a 35 °C, en 69 diferentes sitios en SLP, se encontró una correlación Spearman positiva altamente significativa entre la cobertura vegetal y la precipitación total; y una correlación negativa significativa entre cobertura vegetal y días al año con temperaturas máximas mayores a 35 °C.

En los últimos 30 años se documentan diversos impactos asociados a los cambios climáticos: disminución de la humedad del suelo; menor productividad del maíz; cambios en el calendario agrícola; alteraciones fenológicas; cambios en el área de distribución de plantas silvestres y cultivadas, desaparición de variedades de maíz.

Si sólo se considera el ensamble de los Escenarios de Cambio Climático, cosa no recomendable por su alta incertidumbre, en la Región Hidrológica El Salado, por ejemplo, la disponibilidad de agua a largo plazo será de 219,1 m³/hab.-año, (*escasez absoluta de agua*).

Se encontraron relaciones significativas estadísticamente entre mortalidad por anemia, dengue, tuberculosis, síndrome coqueluchoide, infecciones intestinales, infecciones respiratorias agudas, asma y enfermedad de Chagas, con diversas combinaciones de elementos del clima.

El 80% de la tasa acumulada de morbilidad para el total de las enfermedades en SLP se pueden atribuir a las variables sociales (49%) y climáticas (15%). A partir de un análisis de riesgo se identificaron las regiones y los municipios de San Luis Potosí que demandan atención prioritaria para disminuir su vulnerabilidad ante las amenazas provocadas por la variabilidad y el cambio climático.

CAPITULO TRES
OBJETIVOS Y ALCANCES

3. OBJETIVOS Y ALCANCES

3.1 OBJETIVO GENERAL

Elaborar un instrumento de gestión que, en concordancia con el marco estatal de planeación, establezca, en forma ordenada y coherente, estrategias, políticas, directrices y tácticas en tiempo y espacio, así como instrumentos, mecanismos y acciones relacionadas al cambio climático en el ámbito estatal”.

3.2 OBJETIVOS PARTICULARES

Objetivo 1. Reducir la vulnerabilidad de la población y sectores productivos a los efectos del cambio climático, e incrementar su resiliencia, su resistencia y su capacidad de adaptación.

Objetivo 2. Conservar, restaurar y gestionar en forma sostenible los ecosistemas y paisajes garantizando sus servicios ambientales para la mitigación y adaptación al cambio climático.

Objetivo 3. Reducir emisiones de gases de efecto invernadero, en las fuentes de competencia estatal, para transitar a una economía competitiva y a un desarrollo bajo en emisiones.

Objetivo 4. Reducir las emisiones de contaminantes con efectos climáticos de vida corta, propiciando beneficios en salud y bienestar

Objetivo 5. Consolidar la política estatal de cambio climático mediante instrumentos eficaces y en coordinación con el Gobierno Federal, municipios, Poder Legislativo y Sociedad.

3.3 ALCANCES

A nivel estatal, el PEACC-SLP definirá los objetivos sexenales y acciones específicas de mitigación y adaptación del Gobierno del Estado en la circunscripción territorial de San Luis Potosí, estableciendo dependencias u órganos responsables, metas y acciones específicas. A nivel municipal de acuerdo a lo dispuesto en la Ley de Cambio Climático para el Estado de San Luis Potosí y

en sus respectivos ámbitos de competencia, serán los programas municipales de cambio climático.

3.4 ÁREAS DE ACTUACIÓN

La política nacional y la correspondiente al estado de San Luis Potosí presentan objetivos concretos en dos vertientes fundamentales y que deben ser consideradas en forma obligatoria la adaptación y la mitigación del cambio climático. Para alcanzar los objetivos establecidos debe existir una política estatal robusta con pilares de política estatal perfectamente establecidos.

3.4.1 Pilares de la política estatal

1.- Contar con políticas estatales y acciones climáticas transversales, articuladas, coordinadas e incluyentes. La instrumentación adecuada de una política estatal de cambio climático, exige: una coordinación transversal entre dependencias y organizaciones, la revisión del marco jurídico afín de evitar contraposiciones y la inclusión de todos los actores sociales. La articulación de actores e instrumentos es indispensable para ejecutar las políticas estatales y acciones de adaptación y mitigación contenidas en la Estrategia Estatal de Cambio Climático. (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2013)

2.- Desarrollar políticas fiscales e instrumentos económicos y financieros con enfoque climático. Las acciones para combatir el cambio climático requieren de recursos económicos accesibles, oportunos, constantes y suficientes para su efectivo cumplimiento. San Luis Potosí puede hacer un mayor uso de instrumentos económicos. El desarrollo de políticas fiscales e instrumentos económicos, en el ámbito de su competencia, con enfoque climático impulsará la promoción de un desarrollo económico bajo en emisiones y elevará la competitividad. (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2013)

3.- Construir una plataforma de investigación, innovación, desarrollo y adecuación de tecnologías climáticas y fortalecimiento de capacidades institucionales estatales. Con el objetivo de tomar las decisiones adecuadas para mitigar y adaptarnos al cambio climático, San Luis Potosí requiere reforzar la generación de

conocimiento científico y tecnológico, además de construir una plataforma de difusión. De la misma forma, es necesario crear capacidades estatales en las instituciones de Educación Superior y en los dos órdenes de gobierno, en especial en los municipios, mediante capacitación en temas prioritarios de adaptación y mitigación. (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2013)

4.- Promover el desarrollo de una cultura climática. Resulta indispensable transformar los modelos de producción y consumo orientándolos hacia la sustentabilidad.

5.- Instrumentar mecanismos de monitorización, informe, validación y evaluación. Las acciones de mitigación y adaptación al cambio climático, en el ámbito estatal, requieren del desarrollo de instrumentos de evaluación, informe, monitorización y validación para evaluar sus avances y adecuación.

3.4.2 Adaptación

Los ejes estratégicos para la construcción de las estrategias de adaptación al cambio climático en San Luis Potosí son los siguientes:

1.- Reducir la vulnerabilidad y aumentar la resiliencia y capacidad de adaptación del sector social. Ante los efectos del cambio climático. La evaluación de la vulnerabilidad de los diferentes sectores en el estado de San Luis Potosí y la implantación de medidas de adaptación deben realizarse a nivel local respondiendo a condiciones particulares, utilizando un enfoque de abajo hacia arriba. (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2013)

2.- Reducir la vulnerabilidad y aumentar la resiliencia y la capacidad de adaptación de la infraestructura estratégica y sistemas productivos ante los efectos del cambio climático. En cada sistema de producción estatal se tomarán en cuenta aspectos relacionados con el cambio climático, para aumentar su capacidad de adaptación, garantizando hasta donde sea posible mantener su productividad y competitividad, sin comprometer su sostenibilidad. (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2013)

3.- Conservar, restaurar y gestionar de forma sustentable los ecosistemas y paisajes, y mantener los servicios ambientales que proveen, incrementando su resistencia y resiliencia, según sea el caso, y favoreciendo los procesos de adaptación al cambio climático. (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2013)

3.4.3 Mitigación

Los ejes estratégicos para la construcción de las estrategias de mitigación al cambio climático en San Luis Potosí son los siguientes:

1.- Acelerar la transición energética hacia la diversificación de fuentes de energía, enfocándose en aquellas de naturaleza limpia. San Luis Potosí tiene un gran potencial de generación de energía mediante fuentes renovables, particularmente solar y eólica, que debe ser explotado. (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2013)

2.- Reducir la intensidad energética mediante esquemas de eficiencia y consumo responsable. (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2013)

3.- Transitar a modelos de ciudades sustentables con sistemas de movilidad, gestión integral de residuos y edificaciones de baja huella de carbono. (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2013)

4.- Impulsar mejores prácticas agropecuarias y forestales para incrementar y preservar los sumideros naturales de carbono en el estado de San Luis Potosí o para mitigar algunos efectos del cambio climático como la disminución de la precipitación o el aumento de la temperatura.

5.- Reducir emisiones de Contaminantes Climáticos de Vida Corta y reducir impactos de cambio climático a nivel regional y disminuir las tendencias de calentamiento global en el corto plazo.

**CAPITULO CUATRO
DEFINICIÓN DE UNIDADES DE
GESTIÓN DE RIESGOS
CLIMÁTICOS (UGER)**

4. DEFINICIÓN DE UNIDADES DE GESTIÓN DE RIESGOS CLIMÁTICOS (UGER)

Se realizó la regionalización de las Unidades de Gestión de Riesgos asociados al cambio climático, para el estado de San Luis Potosí (UGER), con base en las Unidades Geomorfológicas de acuerdo con el criterio de Tamayo 1949 utilizado por (Rzedowski, 1966), corregidas con base en imágenes de satélite.

Las regiones determinadas fueron:

a) Planicie Costera Nor-Oriental: La cual se presenta como una superficie levemente ondulada, normalmente inclinada al Este, con drenaje deficiente. Las margas y areniscas constituyen la roca madre predominante, con algunos cerros aislados de contornos cónicos de naturaleza basáltica (Rzedowski, 1966). Con alturas que van de 0 a 200 m.s.n.m.

Presenta una faja de transición entre la Planicie y la Sierra Madre Oriental, que es más ancha hacia el norte que hacía el sur donde el declive de la Sierra presenta una pendiente mayor. (Rzedowski, 1966)

En la parte norte presenta macizos montañosos longitudinales y valles intermontanos sinclinales, orientadas ambas formaciones en sentido N-S. Las sierras se constituyen por calizas, y es este sistema orográfico el que determina el curso de las corrientes fluviales, que es N-S o S-N, hasta donde se presentan las “abras” donde los ríos atraviesan los macizos de W-E. En el sur se presenta una sierra longitudinal, más ancha y formada por lutitas y areniscas, el macizo se denomina Antefosa de Chicontepec. (Rzedowski, 1966)

b) Sierra Madre Oriental: Situada al poniente de la Planicie Costera, presenta una franja larga de 60-80 km de ancho, que corre en dirección NNW-SSE, y separa la Planicie Costera del Altiplano. El declive de la Sierra Madre hacia la Planicie Costera es muy pronunciado, en cambio, hacia el Altiplano es pequeño de alrededor de 400 m. Su altitud varía de 200 a 3000 m en la región de Xilitla.

C) Región Altiplano, esta última incluye las subregiones Llanura de Rioverde, Serranías Meridionales, Región Bóreo-Central, Planicie Occidental.

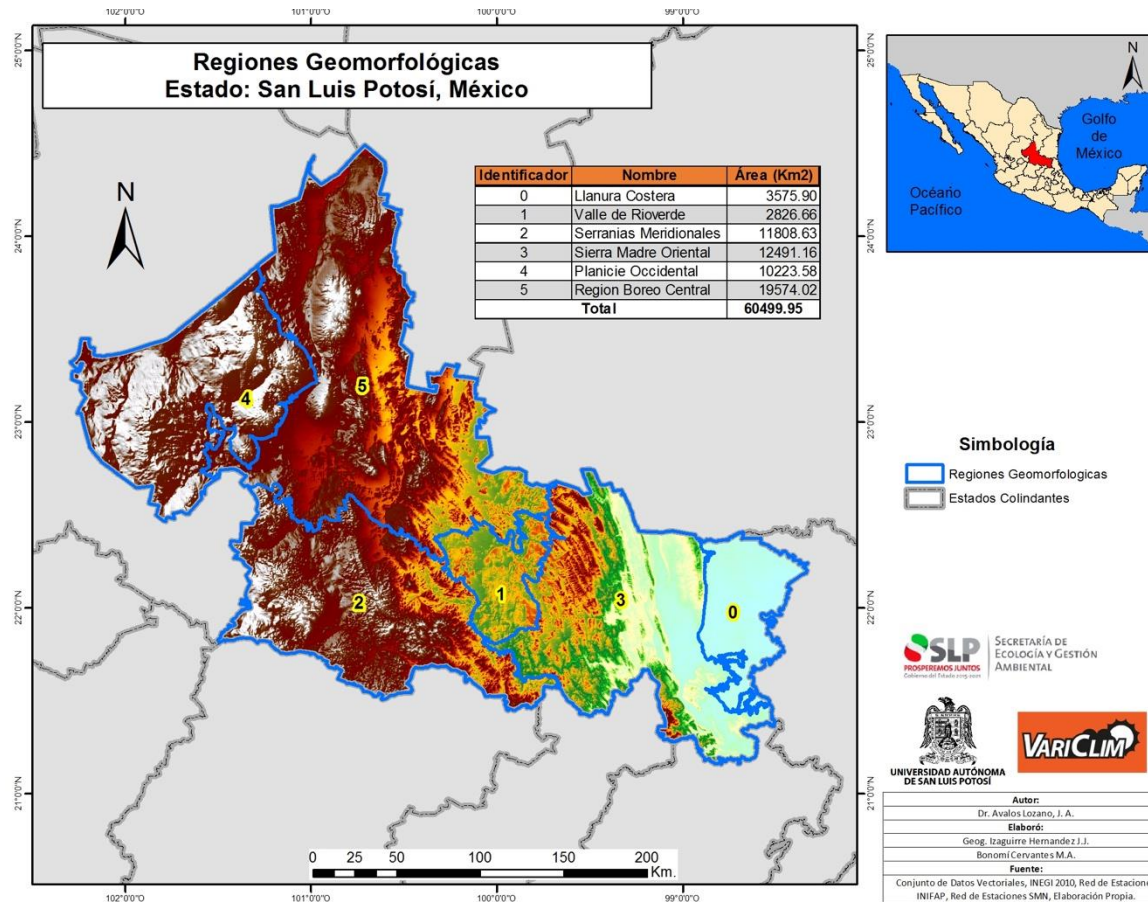


Figura 4.1 Regiones Geomorfológicas de San Luis Potosí.

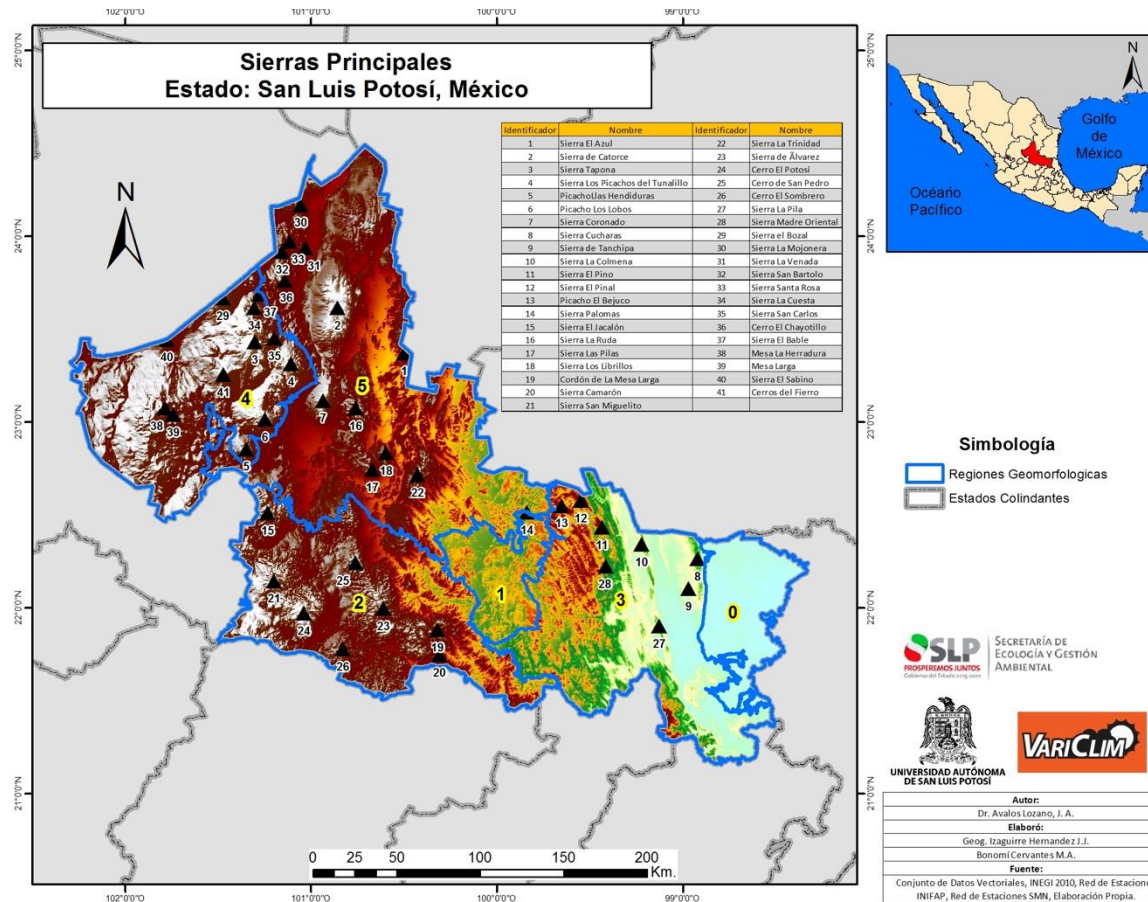


Figura 4.2 Sierras y elevaciones principales de San Luis Potosí.

**CAPITULO CINCO
DIAGNÓSTICO DE
VULNERABILIDAD Y DE
CAPACIDAD DE ADAPTACIÓN EN
SAN LUIS POTOSÍ**

5. DIAGNÓSTICO-Y CONSTRUCCIÓN DE ESCENARIOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN SAN LUIS POTOSÍ

Se realizó la evaluación de vulnerabilidad⁷ de los sectores estratégicos del Estado.

5.1 ANÁLISIS DE ALTA RESOLUCIÓN DE LA VARIABILIDAD CLIMÁTICA 1900-2010

Se realizó un análisis de alta resolución de la variabilidad climática en San Luis Potosí, desde el año 1901 hasta el 2010. Se seleccionaron y analizaron las mejores series de tiempo de datos climáticos, que fueron posteriormente utilizadas para las evaluaciones de vulnerabilidad de los diferentes sistemas socioambientales.

Dentro del marco del PEACC-SLP, se utilizó una metodología unificada aplicable a todas las regiones geomorfológicas del estado de San Luis Potosí. Dos tipos de análisis fueron incorporados: un análisis de datos climatológicos, usando datos de series de tiempo (de 30 a 40 años) y un análisis de tendencias, usando series históricas de datos climáticos de 100 años.

Se determinó el régimen interanual e intraestacional de precipitación, temperatura máxima y mínima para cada unidad geomorfológica del estado. Se cartografió la climatología de alta resolución del estado de San Luis Potosí, para precipitación, temperatura máxima, temperatura mínima. Se realizó un análisis de la variabilidad climática interanual e intranual para cada unidad geomorfológica del estado de San Luis Potosí.

Se calcularon y cartografiaron 27 índices de cambio climático basados en datos diarios, para los periodos 1970-2010 y 1980-2010 para más de 94 estaciones localizadas en el estado. Se calculó y cartografió la variabilidad interanual en la precipitación y las anomalías, con respecto al modelo de Conrad (1941),

⁷ Grado al cual un sistema es susceptible e incapaz de hacer frente a los efectos adversos del cambio climático, incluyendo la variabilidad climática y los extremos (IPCC, 2013).

considerando que la variabilidad interanual en la precipitación es de gran importancia desde el punto de vista ecológico y agrícola, pues grandes variaciones implican años con inundaciones, otros con cultivos abundantes y otros con hambre, todos en el mismo lugar. Los ecosistemas encontrados en lugares con alta variabilidad son muy resilientes y pueden fácilmente regresar a su condición después de un disturbio.

Finalmente se calculó y cartografió el Régimen de Aridez (RA) o Régimen Hídrico, para el periodo 1970-2010, utilizando los datos de 94 estaciones climáticas; de acuerdo a la metodología establecida en UNESCO (2010), en la cual se contabiliza el número de meses al año en los que la relación Precipitación/Evapotranspiración de referencia (pp/ETPo) es menor a 0,5 (la pp y ETPo se expresan en valores mensuales) y dependiendo del resultado de la contabilización, las categorías para las diferentes zonas en el estado del RA son: Xérico (12 meses secos e pp anual/ETPo anual < 0,05), Híper Árido (11-12 meses secos), Árido (9-10 meses secos), Semiárido (7-8 meses secos), Subhúmedo (5-6 meses secos), Húmedo (3-4 meses secos), Híper Húmedo (1-3 meses secos), Hídrico (0 meses secos y pp anual < 2500 mm), (Híper Hídrico 0 meses secos y pp anual > 2500 mm).

Considerando que no se cuenta con una red suficientemente densa de estaciones meteorológicas ni series de tiempo suficientes para construir un modelo fino de la distribución de las zonas de aridez con base en registros, se realizó una pequeña corrección del mapa de aridez con base en los mapas de alta resolución (1:30 000) de la distribución de la vegetación en San Luis Potosí, dado que la mayoría de las formaciones vegetales son expresiones de síntesis de diversas variables, en particular, la relación pp anual/ETPo anual.

También se calcularon y cartografiaron, para las mismas 94 estaciones climáticas utilizadas para el RA, los valores del Inverso de la tendencia del Índice de Humedad (invIH), para averiguar si existía una tendencia para el aumento de la

aridez en el estado. Sólo se cartografiaron las tendencias de cambio significativas. Queda claro que el RA y el invIH no son comparables. Este valor se determinó de la siguiente manera: al ser una tendencia lineal (tasa de cambio constante respecto al tiempo) o simplemente la pendiente del modelo de ajuste lineal; el valor del invIH se evaluó como la recta perpendicular a dicha pendiente, es decir: $invIH = -1/mIH$. Donde mIH es la tendencia del Índice de Humedad.

Una vez reconstruidas las series de tiempo de los datos climáticos se utilizaron para diseñar nuevos escenarios climáticos, que fueron posteriormente empleados para realizar la evaluación prospectiva de los impactos producidos por la variabilidad y el cambio climático en los sistemas socio-ecológicos.

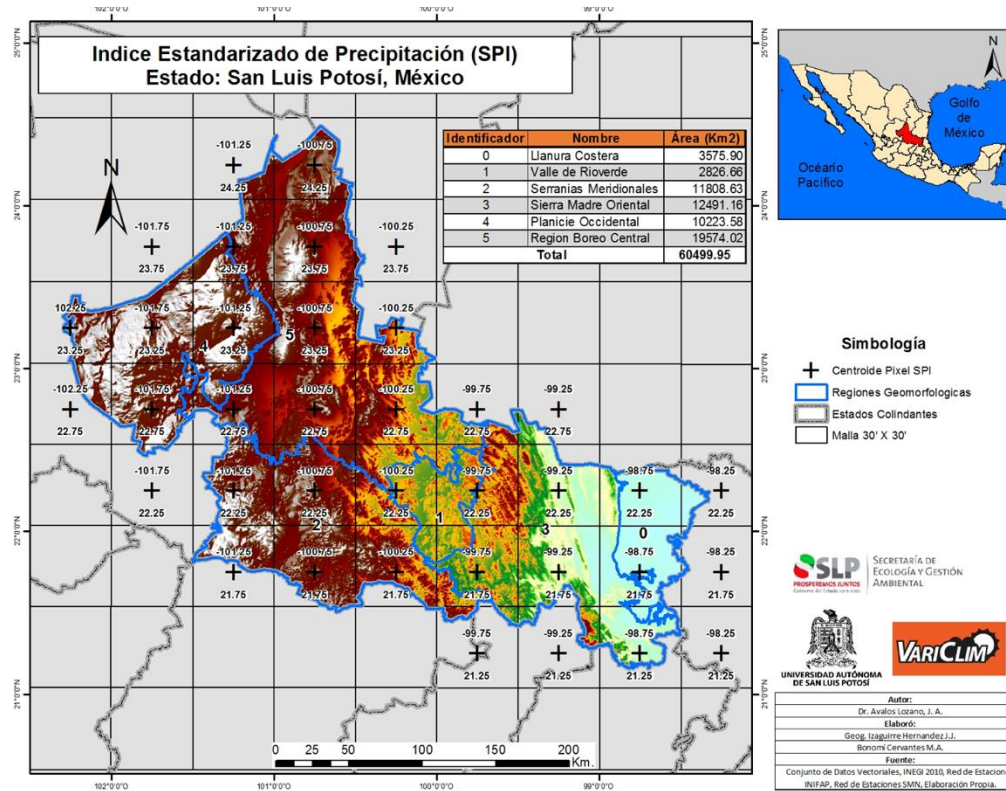
Los análisis fueron realizados con dos escalas de resolución diferentes, pero el componente local de alta resolución, basado en datos de estaciones meteorológicas (EM) fue la parte del estudio que se trabajó en forma más detallada, las dos escalas se utilizaron para construir: la línea base macroregional y la microregional.

A.- El primer análisis concluido fue el de la línea base macroregional con base en los datos de Méndez y Caetano (2007), que cubren el periodo 1901-2002. Los datos se presentan agregados en una rejilla tridimensional sobre el estado, con pixeles de una resolución horizontal de 54 X 54 Km, ver mapa 5.1.

El análisis permitió registrar oscilaciones multidecadales en la precipitación, determinadas utilizando el Índice Estandarizado de Precipitación SPI 48 para todo el estado.

Los ciclos multidecadales son similares para todo el estado, con periodos de anomalías negativas y positivas de precipitación en periodos aproximados de 17-50 años. Esta oscilación tiene una influencia importante sobre la dinámica de los ecosistemas y provoca un comportamiento complejo, pues representa un cambio discontinuo que se origina en una oscilación de baja frecuencia.

En las siguientes graficas se pueden observar ejemplos de este comportamiento.



Mapa 5.1 rejilla de presentación de los datos climáticos para San Luis Potosí 1901-2000, basado en Méndez y Caetano (2007).

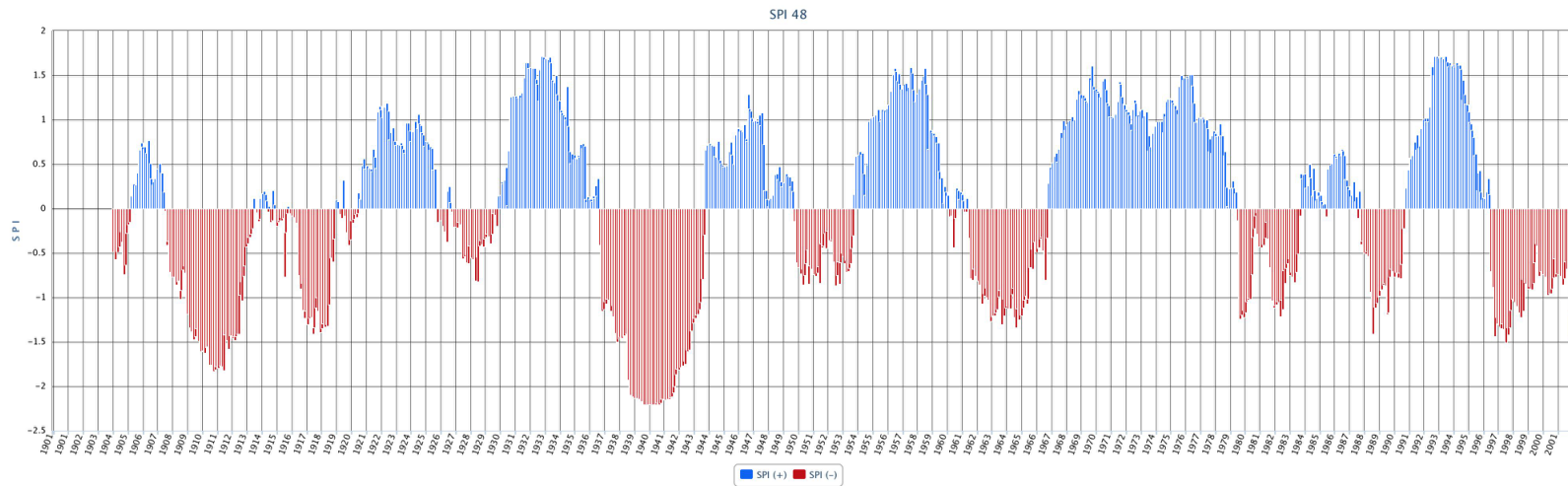


Figura 5.1 serie de tiempo del pixel Tanlajás, SPI 48, sureste del estado de San Luis Potosí, región Sierra Madre Oriental, es posible apreciar los ciclos de precipitación en periodos de 17-22 años.

B.- El segundo análisis de variabilidad climática realizado fue el de línea base microregional, basado en los datos de 94 estaciones localizadas en el estado, para el periodo de 1970-2010. Se determinaron, para cada unidad geomorfológica del estado, las distribuciones de frecuencia de datos y los regímenes interanuales e intraestacionales de los siguientes elementos e índices del clima: precipitación, temperatura máxima y mínima, evapotranspiración potencial e índice de humedad.

Tanto las distribuciones de frecuencia como los índices fueron el insumo fundamental para el análisis de línea base microregional. El resultado del análisis microregional es la climatología de alta resolución (cartografiada) de San Luis Potosí. Los mapas de contornos de los elementos del clima (precipitación, temperatura máxima, temperatura mínima) se afinaron utilizando las curvas de nivel que separan a las unidades geomorfológicas y la distribución potencial de la vegetación realizada por Rzedowski (1966); los resultados se detallan adelante.

San Luis Potosí presenta climas de características esencialmente monzónicas, con fuertes contrastes entre las regiones lluviosas de la Planicie Costera y Sierra Madre Oriental (que representan el 30% del territorio), y la región árida del Altiplano (70% del territorio), con sus respectivas subdivisiones: Llanura de Rioverde, Serranías Meridionales, Región Bóreo-Central y Planicie Occidental, (Rzedowski, 1966), observar Mapa 5.1.

Como se muestra en la tabla 5.1 el porcentaje de precipitación en primavera-verano varía entre el 70 y el 86%, es decir, la precipitación se concentra fundamentalmente en la época de lluvia.

Tabla 5.1. % de precipitación del periodo 1970-2010 en otoño-invierno, noviembre-abril; y primavera-verano (mayo-octubre).

Región	Estación	O-I	P-V
Llanura Costera	20015	22	78
	24017	21	79
	24020	21	79
	24036	22	78
	24053	25	75
	24085	25	75
	24095	21	79
	24107	18	82
	24108	23	77
	24113	25	75
	24133	21	79
	24139	21	79
Planicie Occidental	24048	23	77
	24055	21	79
	24073	21	79
	24077	25	75
Región Boreo Central	24007	23	77
	24008	19	81
	24021	20	80
	24022	28	72
	24032	22	78
	24033	22	78
	24057	21	79
	24074	24	76
	24094	28	72
	24096	19	81
24098	22	78	
Serranías Meridionales	24004	19	81
	24024	20	80
	24034	19	81
	24038	18	82
	24042	19	81
	24045	18	82
	24046	18	82

Región	Estación	O-I	P-V
	24050	21	79
	24051	16	84
	24061	17	83
	24067	18	82
	24069	19	81
	24071	18	82
	24075	18	82
	24078	20	80
	24081	25	75
	24093	17	83
	24100	17	83
	24101	24	76
	24106	18	82
	24111	23	77
Sierra Madre Oriental	24002	23	77
	24003	24	76
	24005	21	79
	24009	26	74
	24013	18	82
	24014	15	85
	24016	17	83
	24023	16	84
	24025	21	79
	24026	25	75
	24027	16	84
	24028	14	86
	24031	17	83
	24035	21	79
	24039	15	85
	24043	16	84
	24047	16	84
	24049	16	84
	24054	20	80
	24056	17	83
24060	18	82	
24063	20	80	
24064	17	83	
24068	14	86	

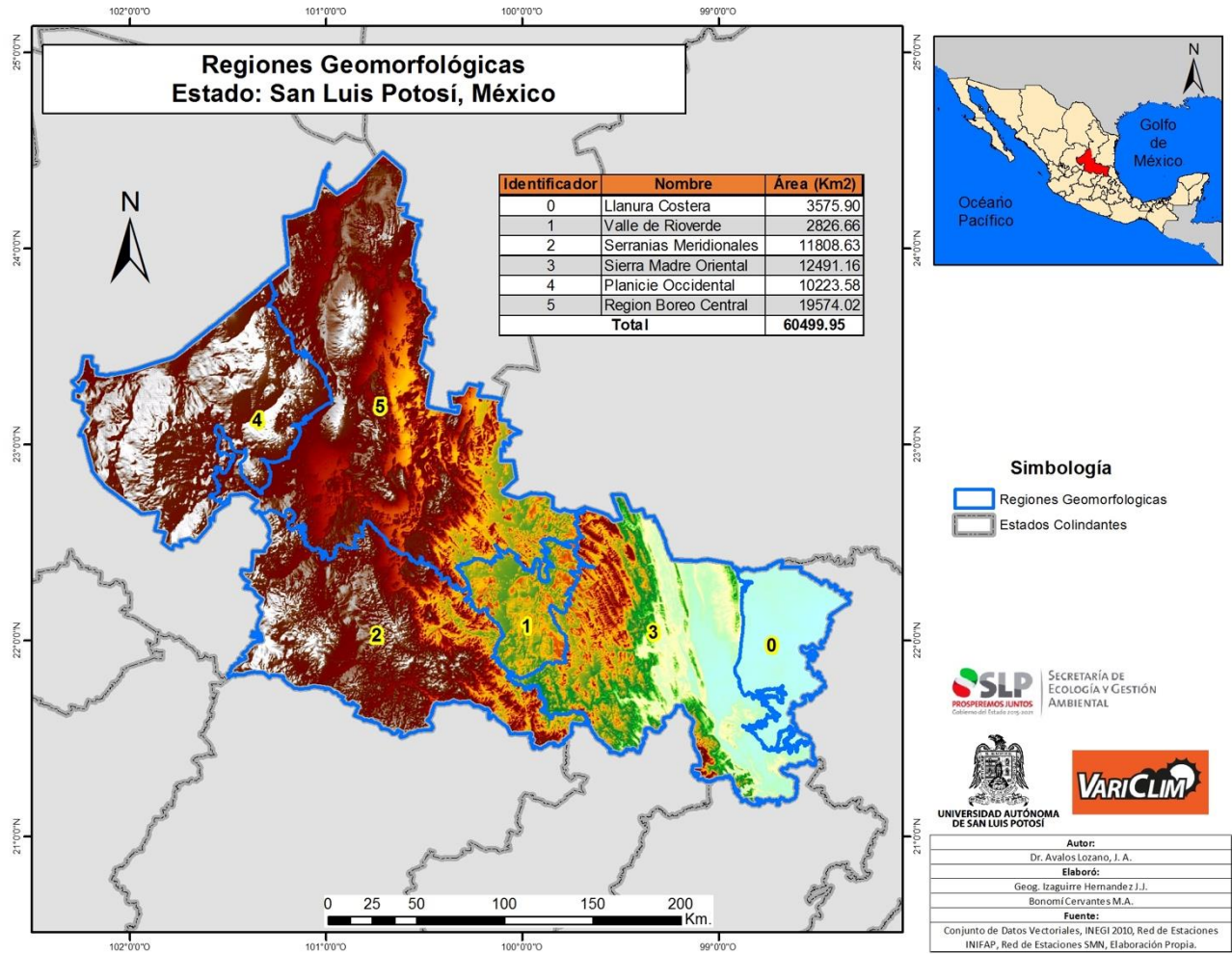
Región	Estación	O-I	P-V
	24072	23	77
	24076	16	84
	24082	26	74
	24084	26	74
	24086	20	80
	24087	25	75
	24088	20	80
	24090	19	81
	24091	25	75
	24092	20	80
	24097	17	83
	24105	23	77
	24122	30	70
	24125	23	77
	24132	17	83
	24136	25	75
	24137	19	81
Valle de Rioverde	24052	21	79
	24066	18	82
	24103	18	82
	24110	18	82
	24114	19	81

“En función de las diferencias de altitud, de la posición topográfica y de algunos otros factores, las condiciones del clima difieren en forma notable en las diferentes partes del estado (...) Aunque [la mayoría] (...) de su territorio se caracteriza por ser árido, el grado (...) de (...) aridez varía mucho (...) al igual que la temperatura, los vientos, la nubosidad, etc. En cuanto a los climas húmedos éstos son aún más diversificados” (Rzedowski, 1966, pág. 36).

La latitud es el factor que presenta la mayor influencia sobre los tipos de clima, en el caso de San Luis Potosí el Trópico de Cáncer lo atraviesa a los 23° 26' 16" de latitud norte (en la parte septentrional) y, aunque no constituye una frontera

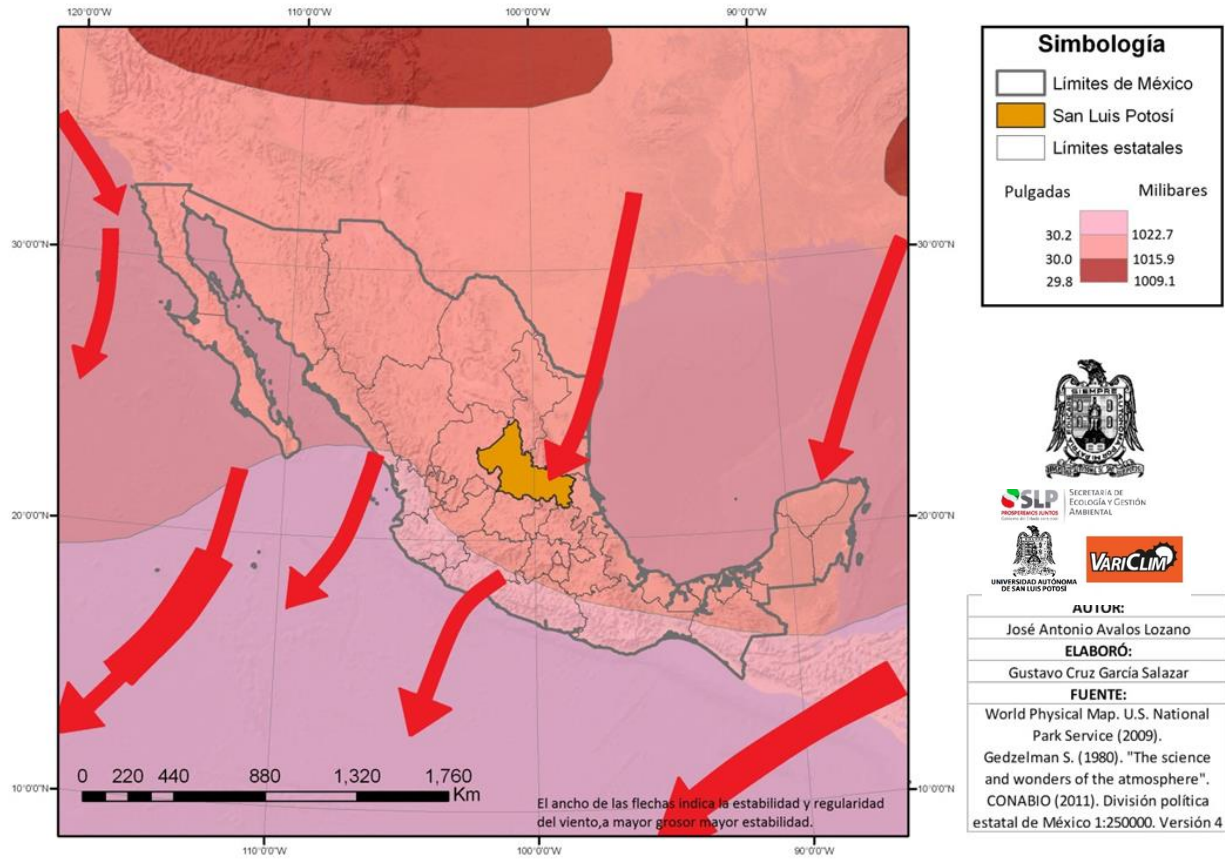
absoluta entre las zonas templada y tropical, la incidencia de este paralelo se asocia a fenómenos climáticos críticos como la isoyeta de 400 mm de precipitación media anual o la isoterma de 0 °C de temperatura mínima absoluta (límite del bosque tropical perennifolio) (Rzedowski, 1966). Las coordenadas extremas del estado se localizan entre: 21° 11' y 24° 24' de latitud norte, es decir, San Luis Potosí se localiza dentro del cinturón de altas presiones atmosféricas situado en latitudes entre los 20 y 30°, en ambos hemisferios. El aire descendente en estas regiones causa condiciones de aridez, de tal forma, que muchos de los desiertos del mundo se localizan en este cinturón (Gedzelman, 1980, pág. 7).

En este caso, otros factores importantes para el clima son la variación altitudinal y la fisiografía, factores esenciales para explicar el patrón de distribución de la precipitación y la temperatura en el estado. San Luis Potosí presenta un patrón geográfico caracterizado por una serie de tres grandes planicies escalonadas en sentido E-W, separados por macizos montañosos longitudinales alternados con llanuras, con una disposición N-S, perpendicular a la dirección de los vientos alisios (Rzedowski, 1966). En la figura 5.1 y los mapas 5.1, 5.2 y 5.3 se representan estas disposiciones.

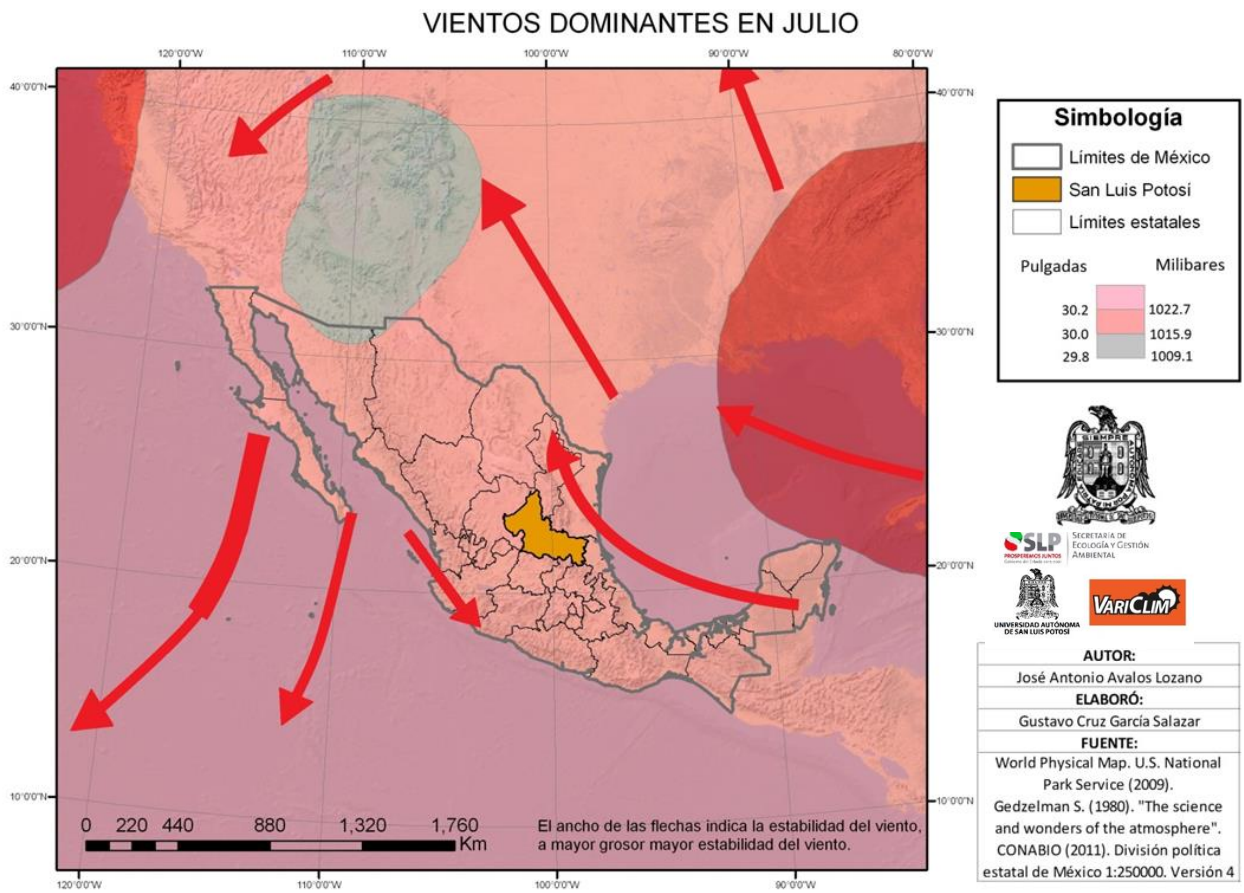


Mapa 5.2 Regiones Geomorfológicas de San Luis Potosí.

VIENTOS DOMINANTES EN ENERO



Mapa 5.3 Dirección de vientos dominantes en enero.



Mapa 5.4 Dirección de vientos dominantes en julio.



Figura 5.2 Perfil hipsométrico paralelo 22° 00' 00", en este perfil se notan la configuración de tres pisos altitudinales del territorio del estado.

La distribución de las isoyetas, en el estado, indica, con claridad, la gran influencia que sobre la precipitación tienen las unidades geomorfológicas, debido a su interacción con los flujos de humedad proveniente del Golfo de México conducidos por los alisios, vientos dominantes.

Esta configuración produce un patrón característico de precipitación, determinado, en primera instancia, por la presencia y disposición de la Sierra Madre Oriental (SMO) y la Sierra Madre Occidental (SMOC), que producen un efecto de sombra orográfica, mucho más importante para la SMO, que interfiere con el flujo de humedad conducido por los alisios (mapa. 4.2) (Rzedowski, 1966)

Es conocido el efecto del aumento de la altitud sobre la precipitación y sobre la temperatura media. En el presente estudio se ha calculado el gradiente de precipitación en función de la altitud, para el paralelo 22° 00' 00", en el barlovento de la Sierra Madre Oriental, y el de la Sierra de Álvarez

	°C/100m	mm/100m
Gradiente 1	-0.8452	127.11
Gradiente 2	0.35	215.67

Tabla 5.2

En el barlovento de la SMO, debido al efecto de sombra orográfica la precipitación es mayor (900-150 mm), y aumenta con la altitud (de 0 a 400 m.s.n.m.), con un gradiente de 127,11 mm/100 m, la temperatura disminuye con un gradiente de -0,8452 °C/100 m.

En el barlovento de la Sierra de Álvarez la precipitación va de 500 a 1100 mm aumentando con la altitud (de 900 a 1250 m.s.n.m.), con un gradiente 215,67 mm/100 m, el gradiente es mayor al de SMO debido a que la disección vertical es mucho mayor en Sierra de Álvarez. La temperatura cambia a razón de 0,35 °C/100 m., aumentando en función de la altitud, debido al gradiente de aridez inducido por el cinturón de alta presión de la Celda de Hadley.

Este patrón se sobrepone a un gradiente general de aumento de la aridez que va del sur al norte (debido a factores latitudinales, de continentalidad y de circulación general de la atmósfera).

La circulación de los vientos dominantes en enero, ver Mapa 5.3, y el relieve del territorio ubicado al noreste de San Luis Potosí, en particular, la orografía, caracterizada por la ausencia de altas montañas, favorecen las incursiones de masas de aire frío, fenómenos importantes que influyen en la precipitación invernal y en las heladas. Cuando estos frentes se asocian a *El Niño*, *La Niña* o a sequías, pueden provocar cambios muy importantes en los paisajes potosinos, como se discutirá en el capítulo correspondiente. Es posible que la disposición de los macizos montañosos y valles (disposición N-S), en San Luis Potosí produzca canales de circulación para el aire frío, induciendo corredores con lecturas bajas de temperatura mínima y con vegetación asociada a estas condiciones.

“[En San Luis Potosí] Son más húmedas las vertientes de barlovento (orientales), de las sierras y las porciones occidentales de las llanuras, que las vertientes del sotavento y las porciones orientales [de las llanuras] respectivamente” (Rzedowski, 1966, pág. 38)

La aseveración se demuestra analizando el Mapa 5.5, el barlovento (oriental) de la SMO es más húmedo que el sotavento (occidental); la parte oeste de la Planicie de Rioverde es más húmeda que la parte este; y el barlovento (oriental) de las Sierras de Álvarez, San Miguelito y Catorce recibe considerablemente más precipitación que el sotavento (occidental). En el caso de las llanuras la parte oeste es más húmeda.

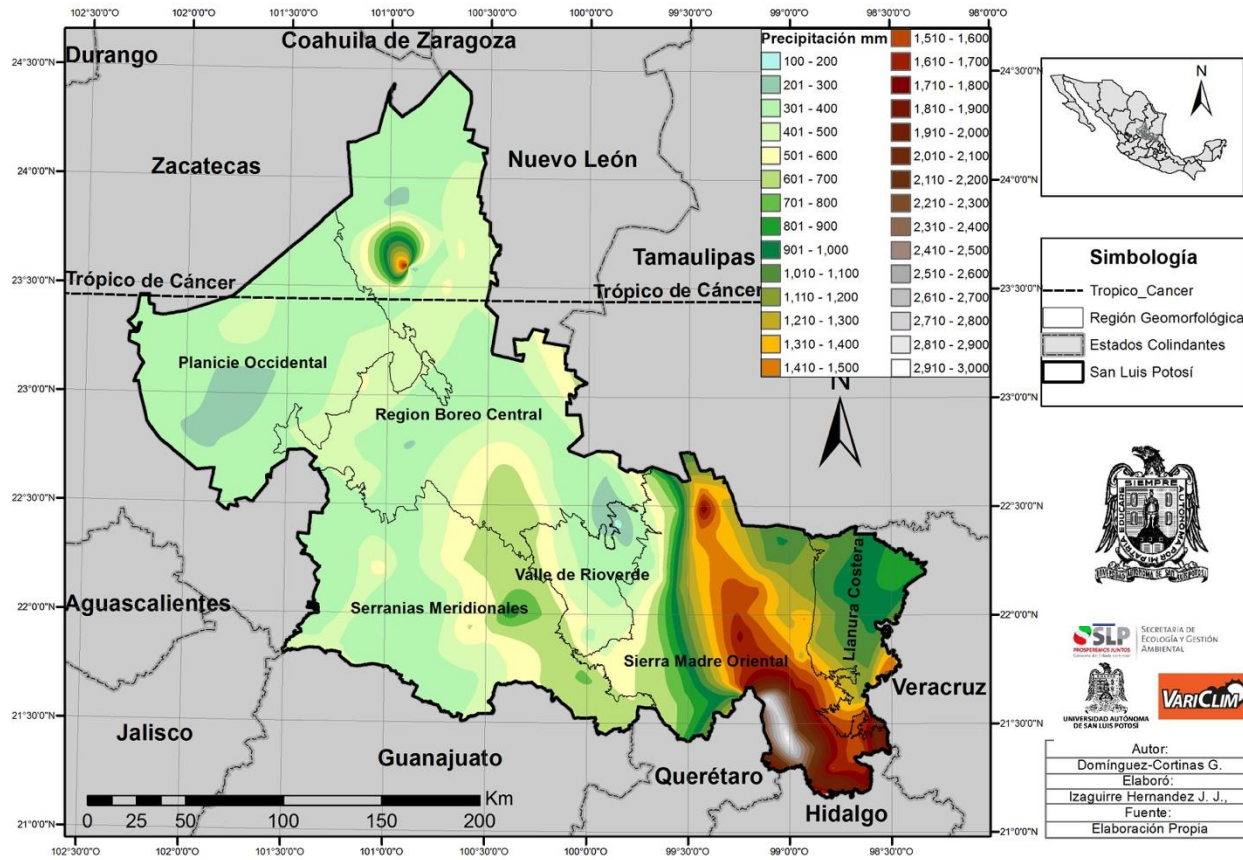
El efecto ladera o de exposición resulta de gran importancia en un sitio tan anfractuoso como el territorio de San Luis Potosí, las diferencias de exposición, en el hemisferio norte, entre la ladera sur, llamada *solana* por los ecólogos y *calentadero* por los campesinos (más seca y caliente); y la ladera norte, *umbría* para los científicos, *sombroso* para los campesinos (más húmeda y fría), provoca diferentes condiciones en el microclima, debido a las diferencias en la humedad del suelo, y por consiguiente, diferentes ensambles, ecosistemas, y sistemas de cultivo, e introduce mayor complejidad al sistema.

Al sumar los efectos de los factores anteriormente descritos, obtenemos un patrón general de precipitación, para el periodo 1970-2010, similar al que se describe en el Mapa 5.5.

Para el periodo 1980-2010, en las diferentes regiones geomorfológicas del estado, la concentración de pp en los meses de mayo a octubre va del 75 al 91%, por lo que se puede afirmar que existen dos estaciones seca y lluvias. Mientras que en invierno (diciembre-enero-febrero) las lluvias van de 150 a 250 mm en la Planicie Costera Nor-Oriental (PCNO) y en el barlovento de la Sierra Madre Oriental (SMO), este elemento del clima alcanza valores de menos de 100 mm en las subregiones

del Altiplano. En el verano (junio-julio-agosto), las lluvias superan los 3 000 mm en algunas localidades de la zona húmeda y los 600 mm en el Altiplano.

Precipitación Media Anual (1970 - 2010)



Mapa 5.5 Precipitación media anual del estado de San Luis Potosí, 1970-2010.

Rzedowski (1966) señaló que la región más pobre en precipitación se encontraba en el extremo boreal del estado. Aunque matizó: “No se conoce con exactitud la extensión en que llueve menos de 300 mm al año, pues sólo se dispone de datos meteorológicos de una localidad”. Rzedowski (1966) cita a Shreve quien afirmó que en la región llovían unos 100 mm al año, aunque el autor no encontró pruebas para demostrarlo. Es interesante notar que la estación de referencia utilizada por Rzedowski tenía, para el periodo correspondiente a 11 años (1950-61), una precipitación promedio de 267 mm, en cambio, en la actualidad, la misma estación, conocida como Estación 24033 “La Maroma, Municipio de Catorce”, presenta una precipitación, para el periodo 1980-2010 de 360.2 mm, lo que podría indicarnos que en esta zona está lloviendo más.

En la actualidad, con condiciones diferentes y más estaciones trabajando con datos disponibles, se ha localizado en el Valle de Rioverde, en el Municipio de Ciudad del Maíz, la zona de menor precipitación del estado con una precipitación de 166,18 mm/anuales (Estación 24190 “La Libertad”); en segundo lugar encontramos la zona norte de la Sierra de Guanamé en la región Planicie Occidental, con precipitaciones entre 205-215 mm/año (estaciones 24161 “La Herradura y 24019 “El Estribo”); y por último el Valle de San Cristóbal en la vertiente norte y oeste de la Sierra de Catorce, en la región Bóreo-Central, con precipitaciones entre 239-263 mm (estación 24144 La Cardoncita y 24094 Vanegas).

En más del 55% del territorio la precipitación se encuentra entre 300 y 500 mm, la mayoría ubicado en la Altiplanicie⁸, en las subregiones: Planicie Occidental, Bóreo-Central, Sierras Meridionales y Valle de Rioverde.

En una superficie mucho menor la precipitación se encuentra de 500 a 1000 mm, fundamentalmente localizado en algunas pequeñas sierras del altiplano, en el piedemonte de la Sierra de Catorce y en una franja del sotavento de la SMO, y en la Planicie Costera.

⁸ Siguiendo a (Rzedowski, 1966, pág. 25) en San Luis Potosí se considera una sola región Altiplano, a diferencia de Tamayo.

La mayor parte de la SMO, una pequeña parte de la Planicie Costera y la parte alta de la Sierra de Catorce reciben de 1000 a 1600 mm.

Solo en un pequeño corredor en el sureste de la SMO se reciben lluvias superiores a los 1600 mm, la franja es muy estrecha hacia el norte (Ciudad del Maíz), desde Tamasopo se ensancha hacia el sur, alcanzando su mayor dimensión en Xilitla, coincidiendo con las alturas máximas de la SMO. En una zona cercana a Xilitla llueven entre 2500 y 3000 mm/año. Alcanzándose la máxima precipitación registrada en el estado en la estación 24125 "Tlamaya" con 3003 mm/año, ver Mapa 5.5.

El Estado por su ubicación y sus características geográficas está expuesto a la manifestación de fenómenos meteorológicos y climáticos extremos. En la planicie Costera y el barlovento de Sierra Madre Oriental se presentan ciclones tropicales, inundaciones fluviales, vientos intensos, ondas de frío y de calor, heladas, granizadas, y sequias. Relacionadas a estos fenómenos también se presentan lluvias torrenciales de alta intensidad y de poca duración que provocan inundaciones y deslaves. En contraste, el Altiplano se ve afectado por sequias durante tiempos prolongados, heladas y en ocasiones inundaciones.

Los ciclones introducen en San Luis Potosí gran cantidad de humedad al oeste de la Sierra Madre Oriental. En la Ciudad de Valles, en el piedemonte de Sierra Madre Oriental, se han presentado, en diferentes ocasiones, fuertes inundaciones fluviales y pluviales, generadas a partir de lluvias intensas, provocadas por fenómenos de tipo ciclónico o por tormentas convectivas y frentes fríos. Las inundaciones de tipo fluvial provocadas por desbordamientos del Río Valles y sus afluentes (Arroyo Las Cruces; Arroyo Birmania, Arroyo El Macho, Arroyo La Lajita, Arroyo Los Puercos; Arroyo Las Garzas; Arroyo Las Mulas) causaron daños importantes en la zona urbana durante tres años consecutivos, 2007, 2008 y 2009.

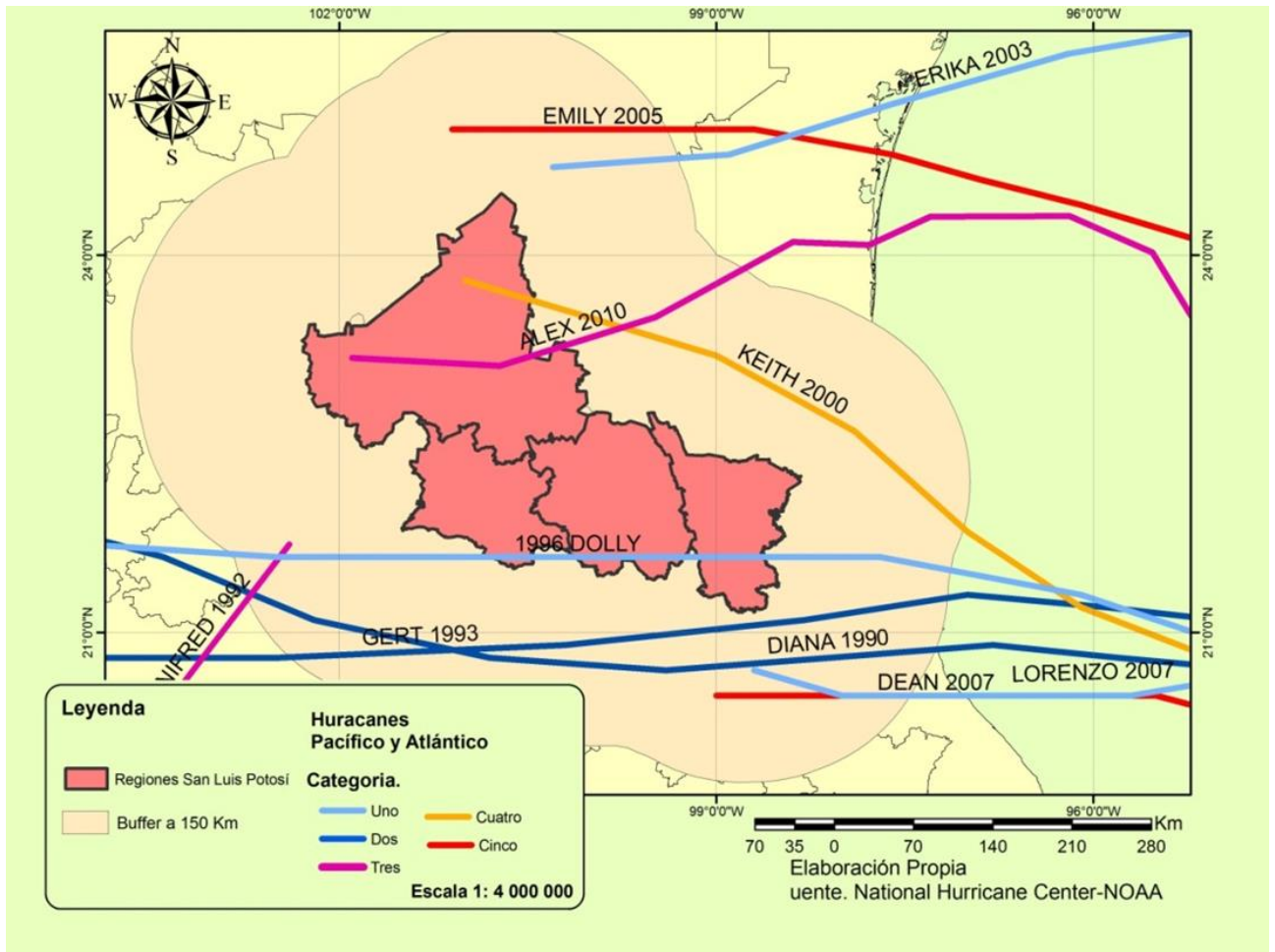
Los ciclones tropicales que han incidido en la subcuenca del Río Valles han provocado importantes avenidas durante el periodo 1955-2007. Para identificar la

presencia histórica en la cuenca, de este tipo de fenómenos, y su importancia, se analizaron los registros de lluvias máximas en 24 horas y los gastos diarios observados en la estación hidroclimatológica Santa Rosa. Los nombres de los ciclones tropicales que afectaron a la Planicie Costera durante el periodo 1955-2007, fueron obtenidos después de trasponer la información de lluvias máximas y de avenidas máximas con las fechas de desarrollo de dichos ciclones (Servicio Meteorológico Nacional).

No.	Nombre	Avenida m3/s	Escala m	Fecha
1	Gladys			Sep de 1955
2	Janet			Oct de 1955
3	Inés	1,691.5	6.60	Oct de 1966
4	Beulah	912.0	5.50	Sep de 1967
5	Greta	803.0	4.40	Sep de 1970
6	Edith	636.0	3.74	Sep de 1971
7	Fifí	1,480.0	7.10	Sep de 1974
8	Caroline	662.0	4.08	Sep de 1975
9	Anita	1,884.0	7.70	Sep de 1977
10	Edouard	461.7	3.86	Sep de 1984
11	Diana	800.0	5.75	Ago de 1990
12	DT2	1,163.0	6.90	Jul de 1991
13	Gert	1,933.7	7.98	Jul de 1993
14	Gabrielle	479.9	4.28	Ago de 1995
15	Dolly	771.5	5.08	Ago de 1996
16	Keith	227.6	2.95	Oct de 2000
17	Erika	71.9	1.49	Ago de 2003
18	Brett	128.5	3.75	Jun de 2004
19	Gert	233.5	3.02	Jul de 2005
20	Dean	1005.4	6.08	Sep de 2007
21	Alex			Junio 2010

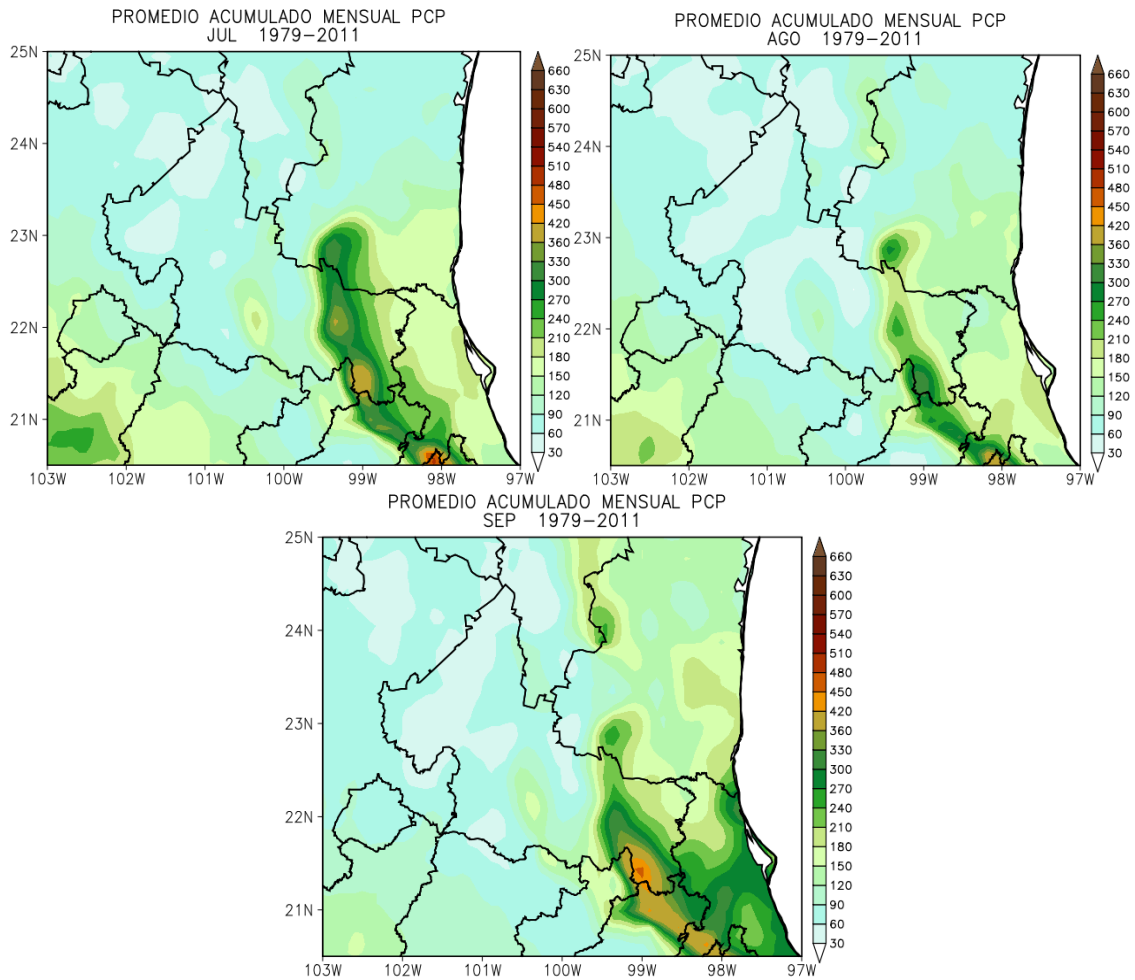
Tabla 5.3 Fuente: ávalos y colaboradores (2018) a partir de información del SMN, BANDAS y ERIC.

Los valores marcados en rojo son los que igualaron o excedieron la escala crítica del río Valles provocando inundaciones. El huracán Alex provocó la destrucción de la localidad de Tahonitas en el Municipio de Catorce.



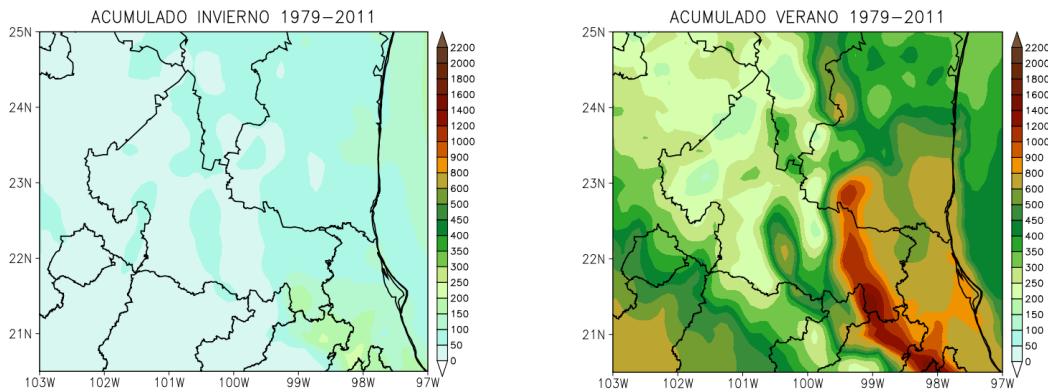
Mapa 5.6 Trayectorias de huracanes que han afectado el territorio del estado de San Luis Potosí

Como se observa en los siguientes gráficos de baja resolución, en San Luis Potosí existen dos máximos bien marcados de precipitación, normalmente en junio o julio y en septiembre, con un periodo de disminución de la precipitación en agosto que no se considera verdaderamente seco y que se denomina canícula, aunque en algunas cuantas zonas del estado no existe la canícula.



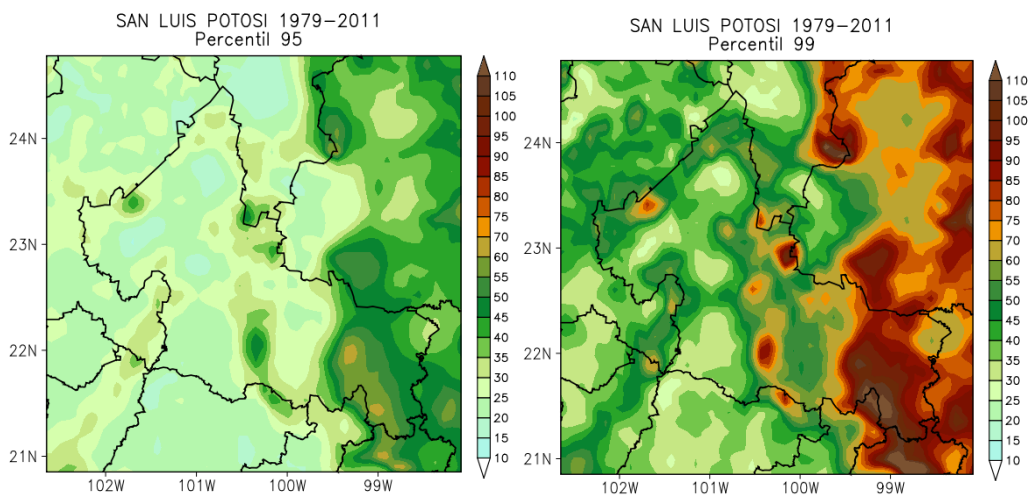
Mapa 5.7 Precipitación acumulada mensual (mm) en los meses de julio, agosto y septiembre en San Luis Potosí.

Mientras que en invierno (diciembre-enero-febrero) las lluvias van de 150 a 250 mm en la Planicie Costera Nor-Oriental y en el barlovento de la Sierra Madre Oriental, este elemento del clima alcanza valores de menos de 100 mm en las subregiones del Altiplano. En el verano (junio-julio-agosto), las lluvias superan los 3000 mm en algunas localidades de la zona húmeda y los 600 mm en el Altiplano.



Mapa 5.8 Precipitación acumulada (mm) de invierno y verano en el estado de San Luis Potosí.

Los eventos de lluvia intensa (percentil 95) se presentan en verano y son de mayor magnitud en las regiones de la Planicie Costera y la Sierra Madre Oriental, donde pueden alcanzar más de 60 mm/día. En situaciones extremas, por ejemplo, cuando se presenta un huracán entrando a tierra por el Golfo de México, las lluvias pueden ser de más de 150 mm/día.



Mapa 5.9 Percentil 95% y 99% de la precipitación diaria (mm) en SLP.

En Planicie Costera Nor-Oriental, Sierra Madre Oriental, Llanura de Rioverde (LLRV) y Sierras Meridionales (SME) se observan dos máximos bien marcados de precipitación uno en julio o junio y uno en septiembre, pero el periodo de disminución en la precipitación no alcanza una magnitud que permita considerarlo

seco. El pico máximo puede presentarse en julio, junio o en septiembre, esta diferencia influye en el régimen de evapotranspiración (ETPo) y aridez (Ar). En cambio, en las zonas Planicie Occidental (PO) y Región Bóreo Central (RBC), las más áridas del estado, generalmente se observa para el periodo 1970-2010, un sólo máximo bien marcado de precipitación en julio o en septiembre, la llamada canícula.

En todo el estado se observa que en enero o en diciembre llueve más que en el mes inmediatamente anterior o posterior, sin que esto signifique una segunda temporada de lluvias; aunque en las regiones más áridas del estado el pico de lluvia de invierno es más importante, su pp. puede alcanzar el 25% de la que cae en el mes más húmedo.

Tanto la canícula como el pico de lluvia invernal (conocido como el frijolero) ejercen gran influencia sobre la vegetación y la agricultura, por ejemplo, en la SMO el pico de lluvia invernal es de importancia extraordinaria ya que el segundo ciclo de cultivo de la milpa depende de este. A partir de los resultados obtenidos se elaboró un mapa de los sitios donde es conveniente instalar estaciones meteorológicas para cubrir completamente al estado.

Para obtener los resultados anteriores se han utilizado las series de tiempo de 68 estaciones meteorológicas localizadas en el territorio estatal, que presentan cuando menos quince años de datos en el periodo 1970-2010. Para la construcción de los mapas se utilizaron datos de estados vecinos. Se aplicaron procedimientos de homogenización para errores sistemáticos y no sistemáticos. En la evaluación del régimen de aridez se usaron datos de estados vecinos y homologías de vegetación, usos de la tierra y agricultura (Rzedowski, 1966, pág. 39).

Los diagramas que se muestran adelante ilustran la distribución anual de la precipitación en 20 localidades distribuidas en las 6 regiones geomorfológicas de SLP.

En el caso de la Planicie Costera Nor-Oriental seleccionamos las estaciones 24108 “El Tulillo”, 24018 “El Choy”, 24036 “Las Adjuntas” (Mapa 5.10, Fig. 5.4, 5.5, 5.6) La concentración de precipitación en los meses de mayo a octubre es del orden de 81 a 83%. En las tres localidades analizadas en el periodo 1970-2010 existen dos máximos bien marcados de precipitación uno en julio y uno en septiembre, pero como ya había observado (Rzedowski, 1966), el periodo de disminución en la precipitación no alcanza una magnitud que permita considerarlo seco. Para la estación 24018 y 24108 el mes de máxima precipitación es el de julio en cambio en la estación 24036 es en septiembre, esta diferencia influye en el régimen de evapotranspiración y aridez. En las estaciones consideradas se observa que en enero (24018, 24036) o en diciembre (24108) llueve más que en el mes inmediatamente anterior o posterior, sin que esto signifique una segunda temporada de lluvias (Rzedowski, 1966, pág. 39), este pico de lluvia invernal es de importancia extraordinaria desde el punto de vista agrícola y ecológico.

En el caso de la Sierra Madre Oriental seleccionamos las estaciones 24039 “Maitinez”, 24002 “Altamira”, 24005 “Ballesmi”, 24068 “San Juan del Meco” (Mapa 5.11; Fig. 5.7, 5.8, 5.9, 5.10). La concentración de precipitación en los meses de mayo a octubre va de 75 a 90%. En las cuatro localidades analizadas en el periodo 1970-2010 existen dos máximos bien marcados de precipitación uno en julio y uno en septiembre (con excepción de la 24068 donde el primer máximo es en junio y julio), pero como ya había observado (Rzedowski, 1966), el periodo de disminución en la precipitación no alcanza una magnitud que permita considerarlo seco. Para la estación 24039 el mes de máxima precipitación es el de julio en cambio para las estaciones 24002, 24005, 24068 es en septiembre, esta diferencia influye en el régimen de evapotranspiración y aridez. Como en la región anterior se observa que en enero (24039, 24068) o en diciembre (24002, 24005) llueve más que en el mes inmediatamente anterior o posterior, sin que esto signifique una segunda temporada de lluvias (Rzedowski, 1966, pág. 39), para la SMO este pico de lluvia

invernal es de importancia extraordinaria ya que el segundo ciclo de cultivo de la milpa depende de este.

En el caso de la Llanura de Rioverde seleccionamos las estaciones 24130 “Granjenal”, 24062 “Rioverde”, 24195 “Las Tablas” (Mapa 5.12; Fig. 5.11, 5.12, 5.13). La concentración de precipitación en los meses de mayo a octubre va de 77 a 86%. En dos de las tres localidades analizadas (24130 y 24062), en el periodo 1980-2010, existen dos máximos bien marcados de precipitación uno en julio (24130), o en junio (24062) y uno en septiembre, pero como ya había observado (Rzedowski, 1966), el periodo de disminución en la precipitación no alcanza una magnitud que permita considerarlo seco, principalmente la 24130 cuyo periodo de disminución es insignificante. Para la estación 24195 sólo existe un periodo de máxima precipitación en julio y agosto y no existe periodo de disminución de la precipitación. Para las estaciones 24130 y 24062 el mes de máxima precipitación es el de septiembre. En la Llanura de Rioverde se observa que en enero (24130, 24062) o en diciembre (24195) llueve más que en el mes inmediatamente anterior o posterior, pero, en el caso de la estación 24062 la precipitación es muy importante alcanza el 50% de la precipitación del mes más húmedo, lo que permite sembrar en la zona cultivos que requieren lluvia invernal.

En Sierras Meridionales las estaciones seleccionadas son: la 24051 “Paso de San Antonio”, la 24067 “San José Alburquerque”, la 24069 “San Luis Potosí”, la 24061 “Rincón del Porvenir” (Mapa 5.13; Fig. 5.14, 5.15, 5.16, 5.17). La concentración de precipitación en los meses de mayo a octubre va de 81 a 89%. En dos de las cuatro localidades analizadas (24051 y 24067), en el periodo 1970-2010, existen dos máximos bien marcados de precipitación uno en junio y uno en septiembre, para las otras dos estaciones 24069 y 24061 también existen dos máximos bien marcados de precipitación, pero son en julio y en septiembre. El periodo de disminución en la precipitación no alcanza una magnitud que permita considerarlo seco. Para las estaciones 24051 y 24067 el mes de máxima precipitación es el de junio, para las estaciones 24069 y 24061 en julio. En Sierras Meridionales se

observa que en enero llueve más que en el mes inmediatamente anterior o posterior, esta precipitación es importante desde el punto de vista agrícola y ecológico.

En La Región Bóreo Central fueron seleccionadas tres estaciones: 24144 “La Cardoncita”, la 24007 “Normal del Desierto”, la 24057 “Presa de Guadalupe” (Mapa 5.14; Fig. 5.18, 5.19, 5.20). La concentración de precipitación en los meses de mayo a octubre va de 75 a 91%. En la estación 24144 para el periodo 1970-2010, se observa un máximo bien marcado de precipitación en julio y uno mucho más pequeño en septiembre, para la estación 24007 existe un único máximo de precipitación en septiembre, mientras que para la 24057 también existe un sólo máximo en julio. En la Bóreo Central se observa que en enero llueve más que en el mes inmediatamente anterior o posterior, esta precipitación alcanza el 25% de la que cae en el mes más húmedo.

La última región analizada es La Planicie Occidental, en ésta fueron seleccionadas las estaciones: 24010 “Charcas”, la 24152 “Sauz de la Calera”, la 24191 “San Antonio del Mezquite” (Mapa 5.15; Fig. 5.21, 5.22, 5.23). La concentración de precipitación en los meses de mayo a octubre va de 75 a 86%. En la estación 24144 para el periodo 1970-2010, se observa un máximo bien marcado de precipitación en julio y uno mucho más pequeño en septiembre, para la estación 24007 existe un único máximo de precipitación en septiembre, mientras que para la 24057 también existe un sólo máximo en julio. En la Bóreo Central se observa que en enero llueve más que en el mes inmediatamente anterior o posterior, esta precipitación alcanza el 25% de la que cae en el mes más húmedo.

En términos generales se puede concluir lo siguiente: en las zonas Planicie Costera, Sierra Madre Oriental, Llanura de Rioverde y Sierras Meridionales se observan para el periodo 1970-2010, dos máximos bien marcados de precipitación uno en julio o junio y uno en septiembre, pero el periodo de disminución en la precipitación no alcanza una magnitud que permita considerarlo seco. El pico

máximo puede presentarse en julio o junio o en septiembre, esta diferencia influye en el régimen de evapotranspiración y aridez. En cambio, en las zonas Planicie Occidental y Región Bóreo Central (las más áridas del estado), generalmente se observa para el periodo 1980-2010, un sólo máximo bien marcado de precipitación en julio o en septiembre.

En todo el estado se observa que en enero o en diciembre llueve más que en el mes inmediatamente anterior o posterior, sin que esto signifique una segunda temporada de lluvias, en las regiones más áridas del estado (Boreo Central y Planicie Occidental) el pico de lluvia de enero (en algunas ocasiones diciembre) es importante.

Tanto la canícula como el pico de lluvia invernal (conocido como el frijolero) ejercen gran influencia sobre la vegetación y la agricultura, por ejemplo, en la SMO el pico de lluvia invernal es de importancia extraordinaria ya que el segundo ciclo de cultivo de la milpa depende de este.

La variabilidad interanual en la precipitación es de gran importancia desde el punto de vista ecológico y agrícola, grandes variaciones implican gran incertidumbre en la producción de cultivos. Los ecosistemas encontrados en estos lugares son muy resilientes y pueden fácilmente regresar a su condición después de un disturbio.

La variabilidad relativa siguiendo a (Conrad, 1941) se calculó utilizando la siguiente formula:

$$Vr = 100Va/\bar{p}$$

Donde \bar{p} = la precipitación promedio

$$Y Va = \sum \epsilon t \div n$$

$$Y \epsilon t = |pi - \bar{p}|$$

Donde pi es la precipitación anual.

De acuerdo con Conrad (1941) la variabilidad relativa aumenta, en general, con el incremento de la aridez. Sin embargo, Rzedowski (1966) calculó la variabilidad relativa y las anomalías con respecto al modelo calculado por Conrad (1941) para 21 estaciones localizadas en SLP, y concluyó siguiendo a Wallén (1955) que, en la mitad oriental de San Luis Potosí, correspondiente a la zona de menor aridez, la variabilidad supera con mucho los valores teóricos de Conrad y que las anomalías incrementan del poniente al oriente.

En el presente estudio, para el periodo 1970-2010, se calcularon las variabilidades relativas y las anomalías con respecto a los valores calculados de Conrad para 153 estaciones disponibles en el territorio estatal. El periodo se seleccionó para continuar con la serie de tiempo sobre la variabilidad y las anomalías construida por Rzedowski a principios de los sesenta. Un resultado interesante es que la variabilidad y las anomalías encontradas en 1970-2010 presentan diferencias a las establecidas por el autor citado en 1966:

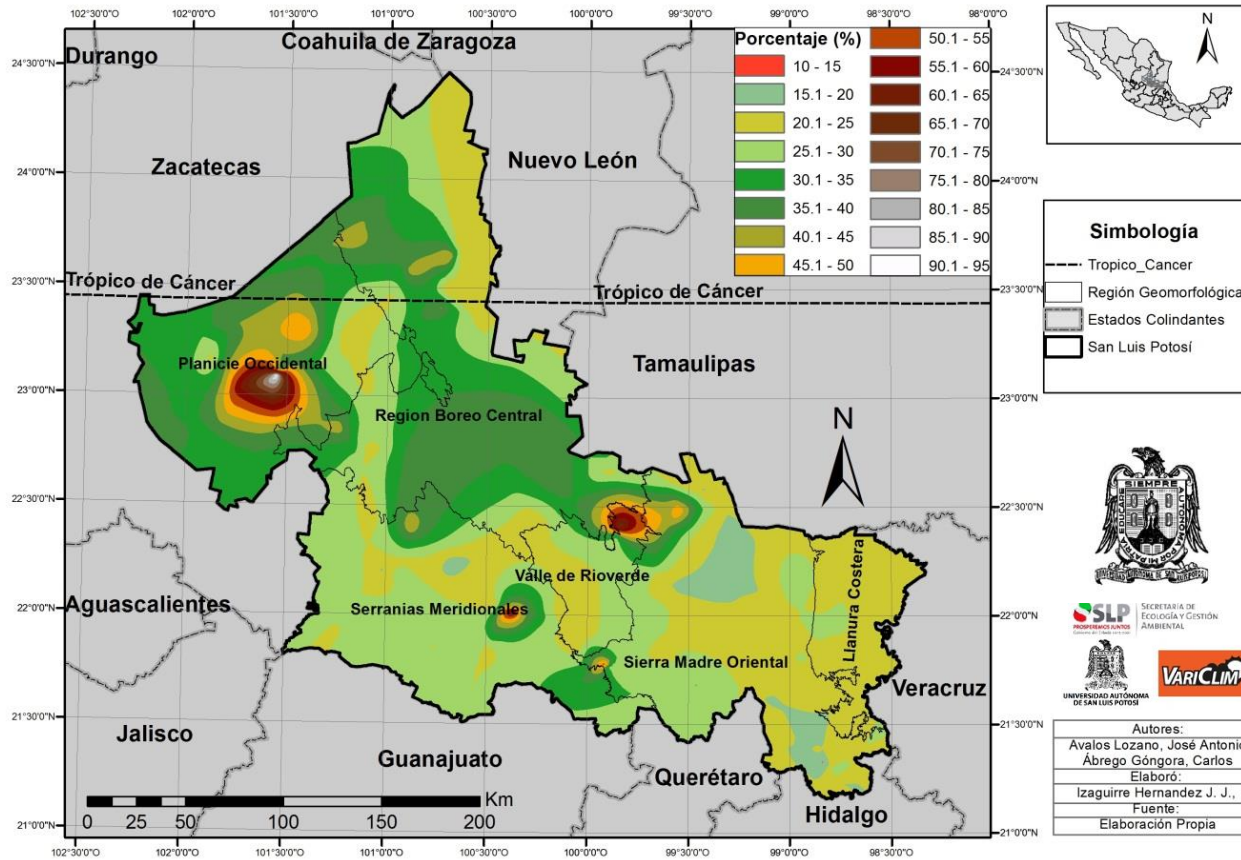
- i.- Se confirma que en San Luis Potosí la V_r es alta, en términos generales, considerando el modelo de Conrad (1941)
- ii.- A diferencia de lo establecido por Rzedowski (1966), es en la mitad occidental de San Luis Potosí donde la variabilidad relativa supera con mucho los valores teóricos de Conrad (aunque la variabilidad de la mayor parte de la Sierra Madre Oriental y la Planicie Costera también es alta para este tipo de ambientes), estos resultados podrían estar asociados con las oscilaciones multidecadales observadas.
- iii.- Las anomalías incrementan del oriente al poniente, claramente asociadas a la aridez. La importancia de esta relación no debe ser subestimada, en las zonas de mayor aridez no sólo llueve menos, adicionalmente, la variabilidad en la precipitación es mucho más grande, por consiguiente, los organismos que habitan el sitio deben tener curvas amplias de tolerancia. Lo anterior sin considerar las oscilaciones decadales.

De hecho, uno de los valores de variabilidad relativa y dos de las anomalías, calculados en el estado de San Luis Potosí, son mayores que los citados por Conrad como la variabilidad y la anomalía más extremas de la tierra, registrados en Isla Malden (Vr 71%; anomalía +53%). En la estación 24019 “El Estribo” situada en el municipio de Salinas, en la región Planicie Occidental, encontramos una variabilidad relativa de 93% y una anomalía de 66%; la estación 24051 “Paso de San Antonio”, en el municipio de Rioverde, en la subregión Serranías Meridionales presenta una variabilidad relativa de 71% y una anomalía de 54%. Por último, la estación 24190 “La Libertad”, en el municipio Ciudad del Maíz, en la subregión Valle de Rioverde se registró una VR de 69% y una anomalía de 40%, estas tres estaciones se caracterizan por sus bajas precipitaciones.

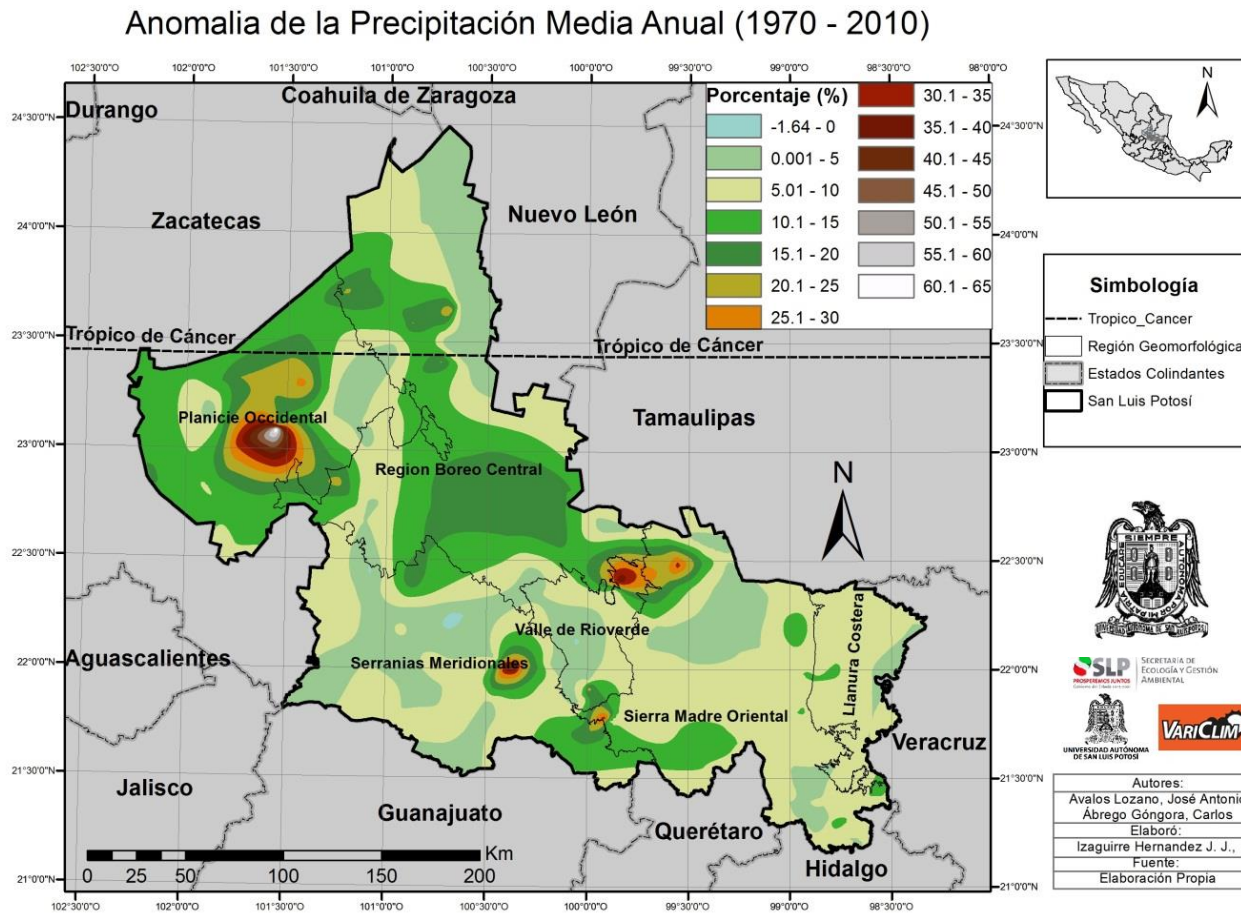
En general en el 52% de las estaciones en San Luis Potosí la variabilidad de la precipitación es tan grande que en los años lluviosos puede haber de 4 a 10 veces más precipitación que en los años secos. Y en el 13% de las estaciones esta relación va de 10 a 1000 veces más precipitación en los años más lluviosos que en los más secos. Como consecuencia de lo anterior la variación en la cantidad de lluvia recibida en el mismo mes a lo largo de los años sucesivos es también muy grande.

Esta característica influye fuertemente a los ecosistemas y a la agricultura, en los siguientes mapas se presentan los mapas de Vr observadas y las anomalías entre Vr observadas y las calculadas con la fórmula de Conrad.

Variabilidad Observada (1970 - 2010)

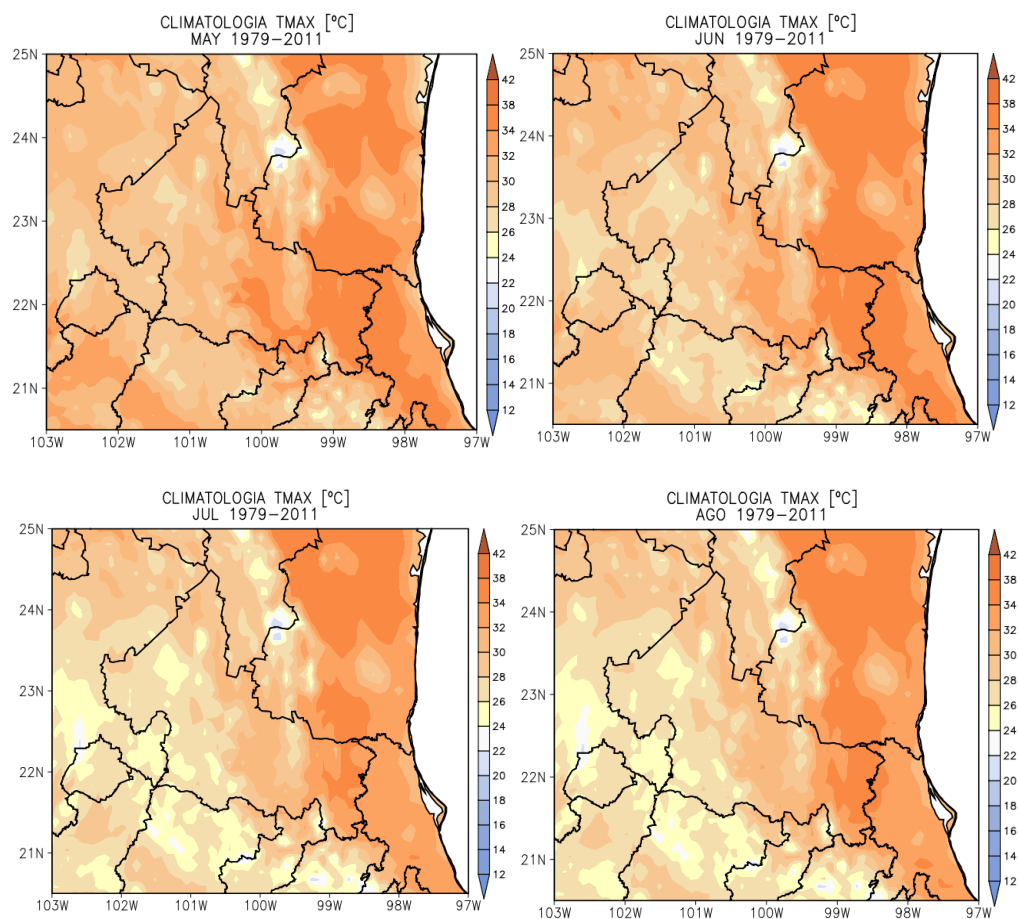


Mapa 5.16 Variabilidad de la precipitación (1970-2010)



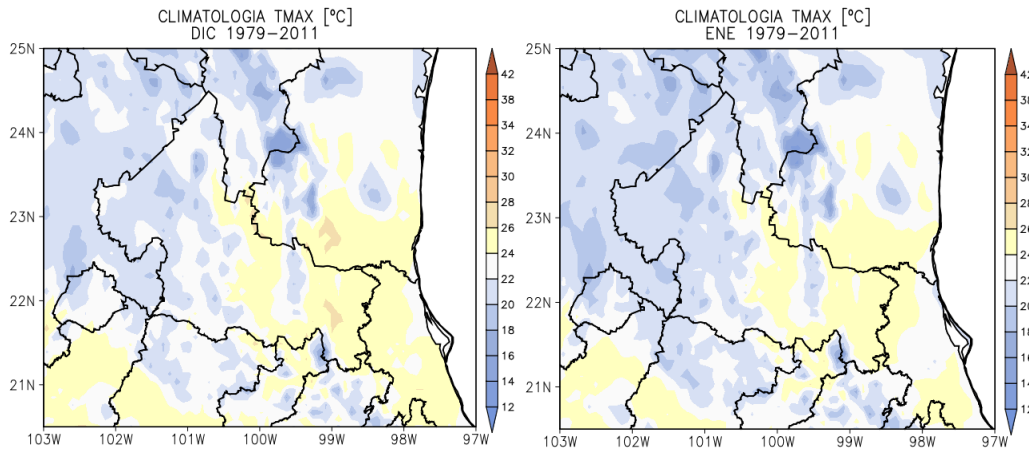
Mapa 5.17 Anomalia entre la Vr observada y la Vr calculada con la fórmula de Conrad 1941 (1970-2010)

Como se observa en los siguientes gráficos de baja resolución, en San Luis Potosí los meses con las temperaturas máximas más altas corresponden a los de primavera y verano, particularmente al mes de mayo, cuando las temperaturas máximas alcanzan valores superiores (promedio mensual) superiores a los 32°C (Mapa 5.18) en la Planicie Costera, el piedemonte de la Sierra Madre Oriental y en la Llanura de Rioverde; en general, las temperaturas máximas en verano disminuyen de este a oeste.



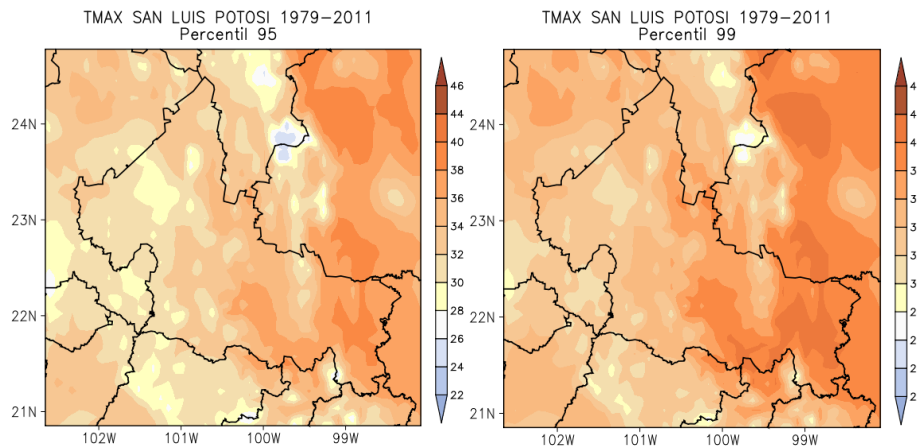
Mapa 5.18 Valores medios de temperatura máxima primavera-verano (°C), 1979-2011.

Los meses con las temperaturas máximas menores son los correspondientes al otoño e invierno, particularmente enero.



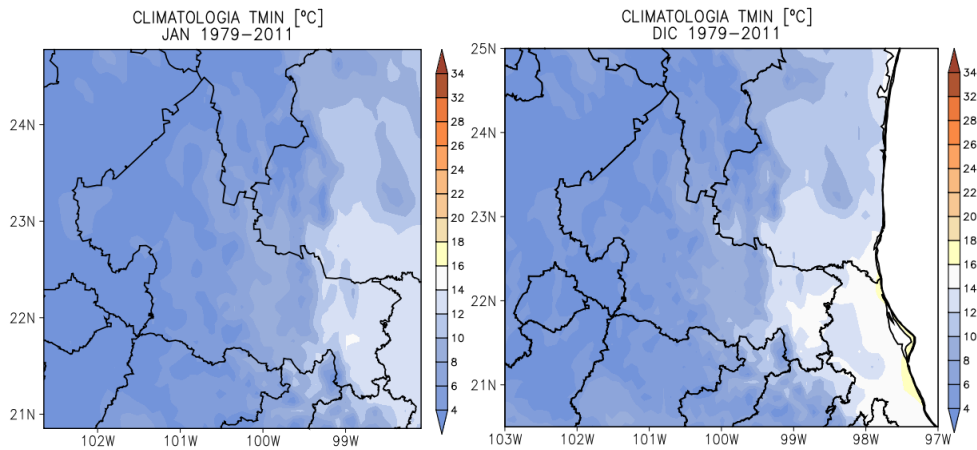
Mapa 5.19 Valores medios de temperatura máxima otoño-invierno (°C), 1979-2011.

Los valores diarios extremos que se alcanzan en el estado pueden ser analizados considerando los percentiles 95% o 99% de la temperatura máxima, en la Llanura Costera Nor-Oriental y en el piedemonte de la SMO los valores pueden superar los 38°C o los 40°C respectivamente (Mapa 5.20). En el resto del estado van de 30 a 34°C. Existen registros que indican que en ciertas zonas de la Huasteca Potosina se han alcanzado 50°C de temperatura máxima.



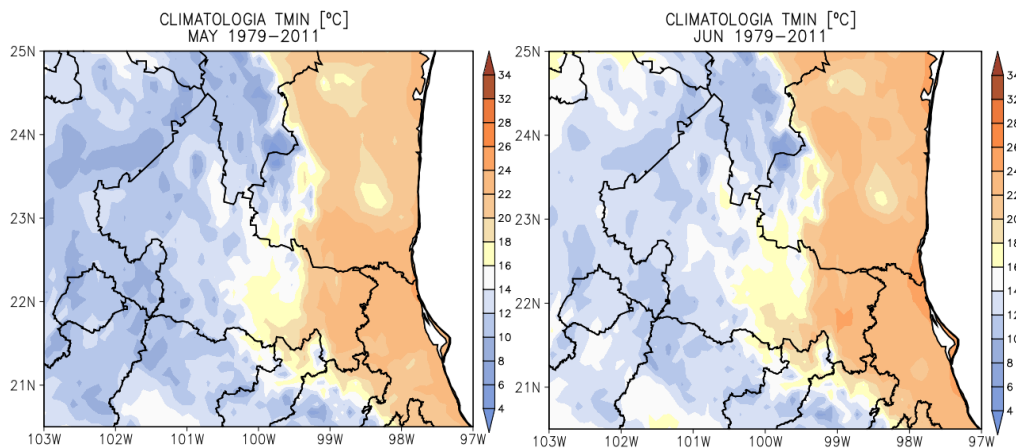
Mapa 5.20 Percentiles 95% y 99% de la temperatura máxima (°C) en SLP, 1979-2011.

Para el caso de la temperatura mínima éstas alcanzan sus valores más bajos en los meses de invierno, principalmente en enero en la región Planicie Occidental y Bóreo Central.



Mapa 5.21 Valores promedio de temperatura mínima (°C) en SLP en enero, 1979-2011.

Las temperaturas mínimas alcanzan sus valores más altos en la primavera, principalmente en junio, encontrándose las menores mínimas en la Sierra de Catorce.



Mapa 5.22 Valores promedio de temperatura mínima (°C) en SLP en primavera, 1979-2011.

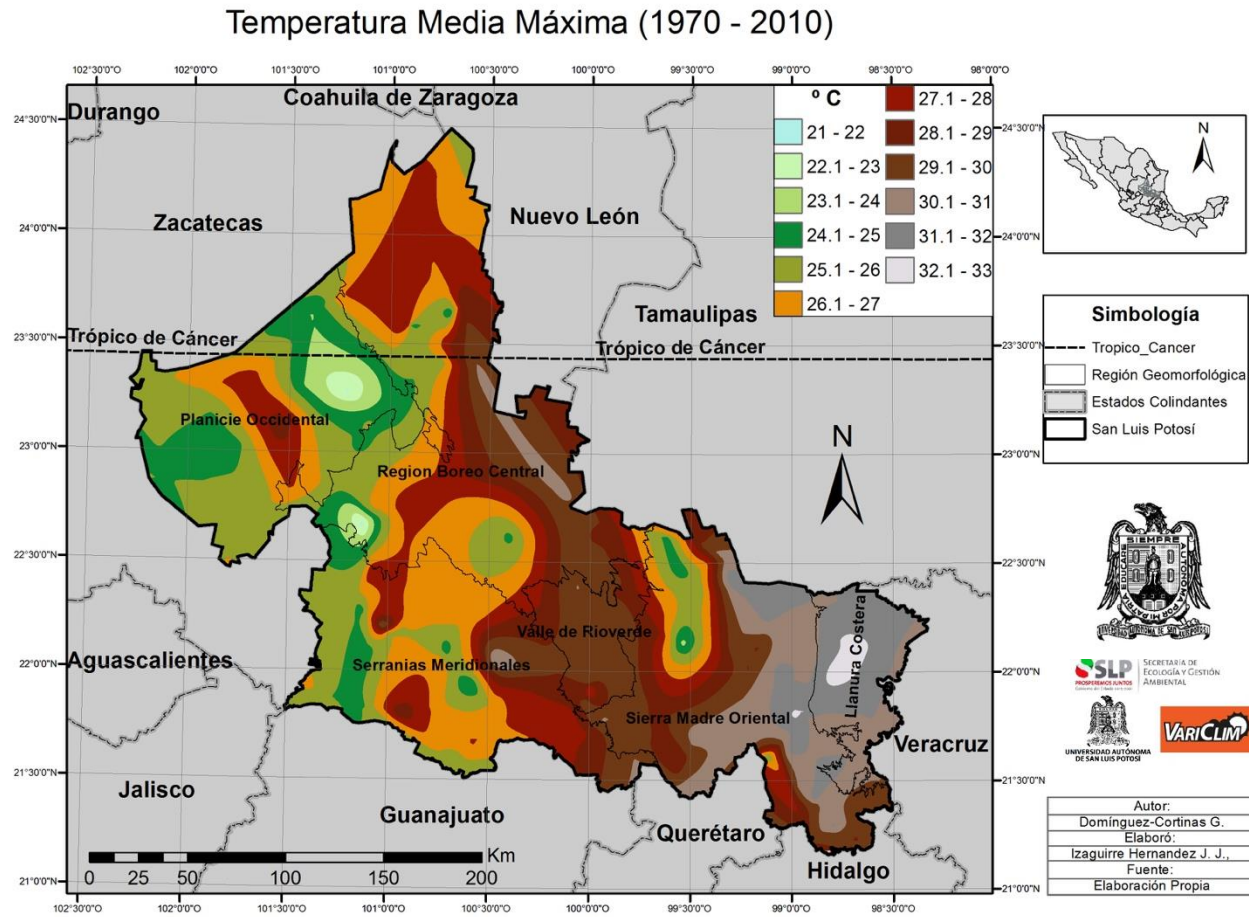
En la parte oeste del estado, las temperaturas mínimas extremas pueden estar por debajo de los 0°C (percentil 5%), principalmente hacia las partes altas. En el caso de la región Huasteca, su alta humedad genera temperaturas mínimas que en promedio son altas y que por lo tanto mantienen las mínimas en promedio por encima de los 10°C. Este punto hace

El área de mayores temperaturas máximas registradas en el estado se localiza en la planicie costera en la estación 24140 “Tamuín” con temperatura media máxima de 32,75 °C, los datos de las menores temperaturas máximas se observaron en la Sierra Los Picachos del Tunalillo y la Sierra El Jacalón con valores entre 21 y 24 °C (21,59 °C es la

menor temperatura máxima promedio registrada en la estación 24021 “El Grito”, en el municipio de Moctezuma). En general la temperatura máxima disminuye del este al oeste del estado.

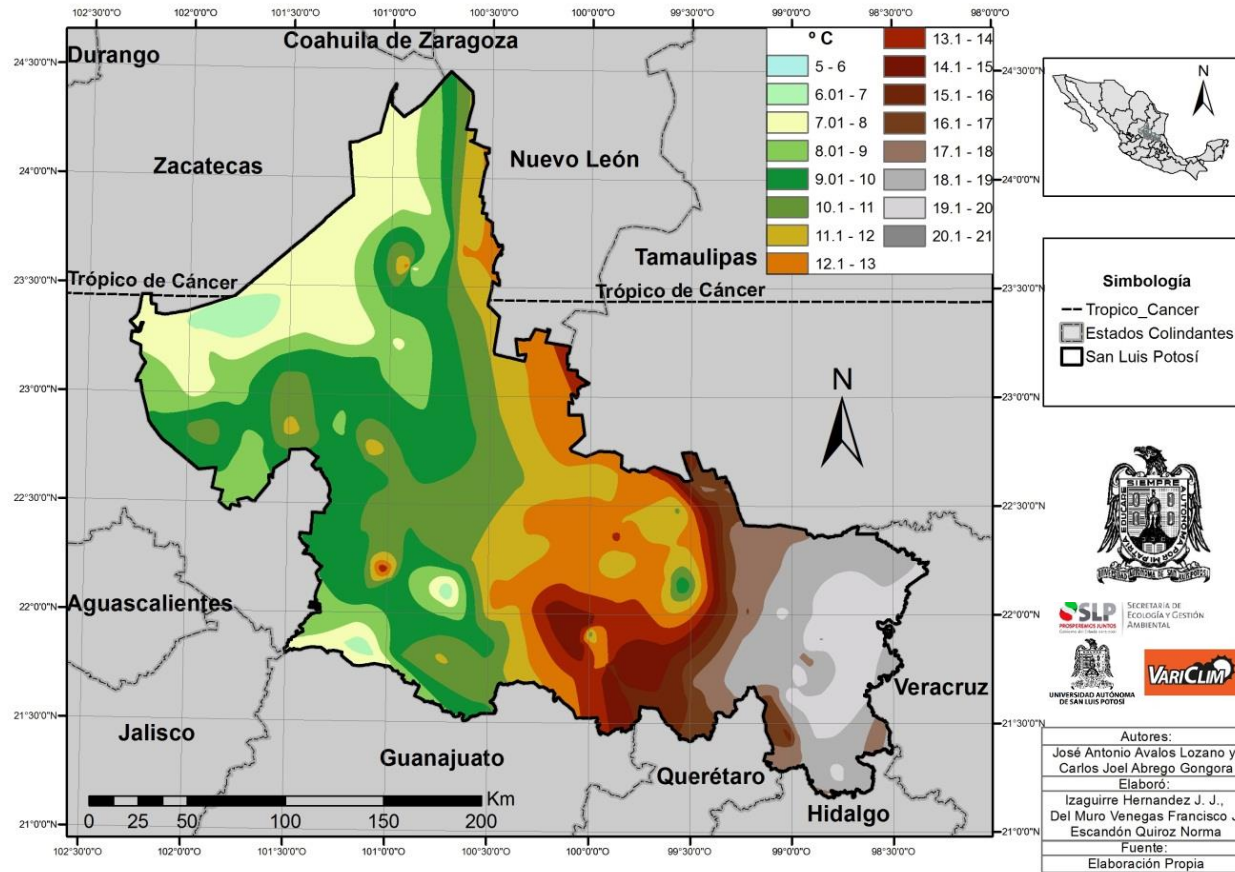
El área de mayores temperaturas mínimas registradas en el estado se localiza en la planicie costera en la estación 24149 “Santa Elena”, en el municipio de Tamuín, con temperatura media mínima de 20,13 °C, las zonas de las menores temperaturas mínimas se encuentran en la subregión de Sierras Meridionales y al norte de la Sierra de Guanamé, en la Planicie Occidental, las estaciones presentan valores de 5-7 °C. En general la temperatura mínima disminuye del este al oeste del estado

Adelante se presenta el mapa de distribución de la temperatura media máxima (Mapa 5.23) y temperatura media mínima (Mapa 5.24), como en el caso de las isoyetas se observa una relación entre la geomorfología y el patrón geográfico de distribución de la temperatura.



Mapa 5.23 Temperatura Media Máxima en el estado de San Luis Potosí (1970-2010)

Temperatura Media Mínima (1970 - 2010)

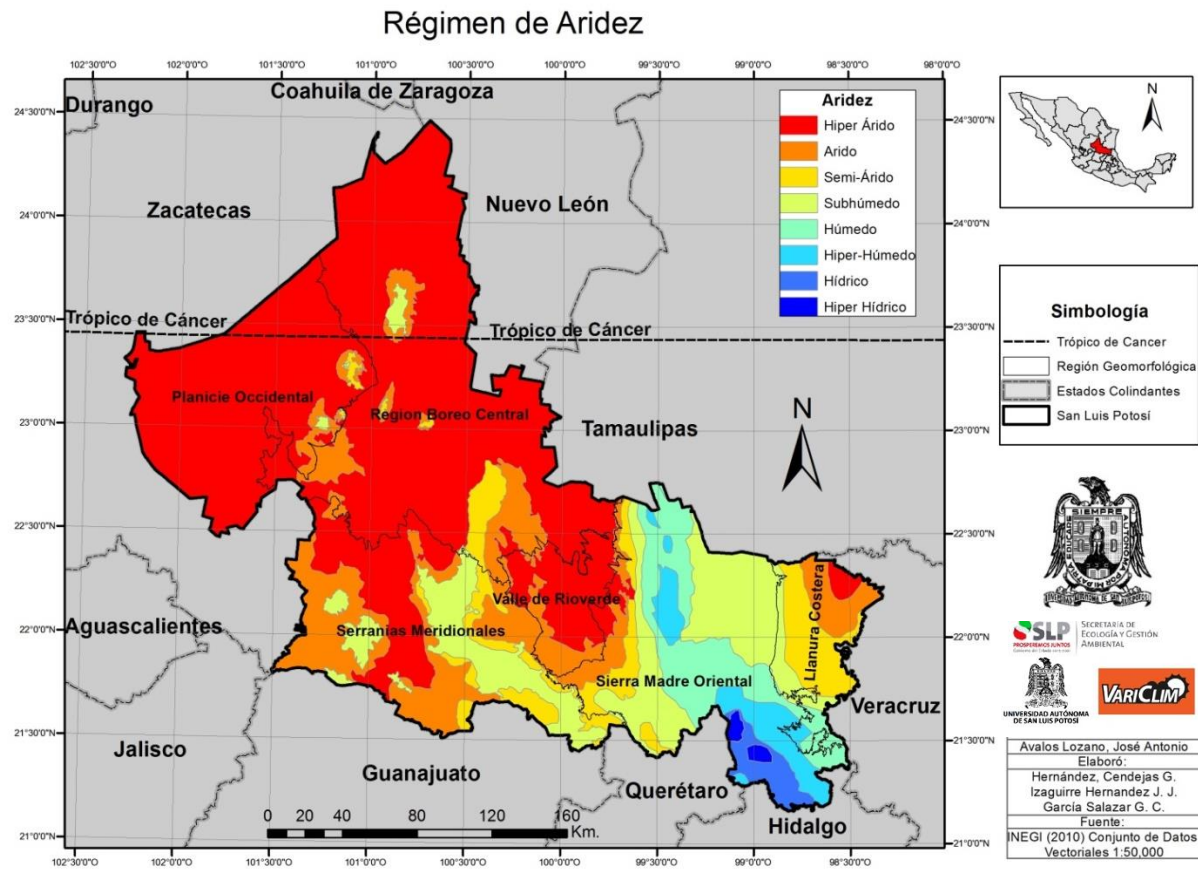


Mapa 5.24 Temperatura Media Mínima en el estado de San Luis Potosí (1970-2010)

Finalmente se calculó y cartografió el Régimen de Aridez (RA) o Régimen Hídrico, para el periodo 1970-2010, utilizando los datos de 94 estaciones climáticas; de acuerdo a la metodología establecida en UNESCO (2010), en la cual se contabiliza el número de meses al año en los que la relación Precipitación/Evapotranspiración de referencia (pp/ETPo) es menor a 0,5 (la pp y ETPo se expresan en valores mensuales) y dependiendo del resultado de la contabilización se determina la categoría del régimen de aridez. Considerando que no se cuenta con una red suficientemente densa de estaciones meteorológicas ni series de tiempo suficientes para construir un modelo fino de la distribución de las zonas de aridez con base en registros, se realizó una pequeña corrección del mapa de aridez con base en los mapas de alta resolución (1:30 000) de la distribución de la vegetación en San Luis Potosí, dado que la mayoría de las formaciones vegetales son expresiones de síntesis de diversas variables, en particular, la relación pp anual/ETPo anual. Las categorías para las diferentes zonas en el estado del RA se presentan en la tabla siguiente:

Régimen de Aridez	Condiciones	Porcentaje de la superficie del estado
Xérico	12 meses secos e la < 0.05	0,0
Híper Árido	11 – 12 meses secos	53,35
Árido	9 – 10 meses secos	14,952
Semiárido	7 – 8 meses secos	7,77
Subhúmedo	5 – 6 meses secos	13,069
Húmedo	3 – 4 meses secos	6,179
Híper Húmedo	1 – 3 meses secos	2,94
Hídrico	0 meses secos y pp anual < 2500 mm	1,388
Híper Hídrico	0 meses secos y pp anual > 2500 mm	0,352

Tabla 5.4 Categorías del Régimen de Aridez



Mapa 5.25 cartografía de la aridez en el estado de San Luis Potosí.

La caracterización de las líneas base macroregional y microregional permitió establecer el marco de referencia para determinar, mediante el estudio de las tendencias en las series de tiempo de los datos climáticos, si se ha presentado en los últimos años una variación en la distribución de frecuencias de los datos climáticos, es decir un cambio climático, o si las variaciones observadas son producto de la variabilidad natural.

5.2 CONSTRUCCIÓN DE ESCENARIOS CLIMÁTICOS

Para la construcción de escenarios de vulnerabilidad se utilizaron dos metodologías complementarias:

5.2.1 Construcción de escenarios climáticos futuros utilizando las Rutas o Vías de Concentración Representativas (RCP).

Los RCP son los escenarios más recientes utilizados en el informe AR5 del IPCC, para los experimentos CMIP5.

El nombre "Rutas de Concentración Representativas" fue elegido para enfatizar los diferentes usos de la herramienta. Por ejemplo, se denominan "Rutas" para enfatizar que su propósito principal es proporcionar proyecciones, dependientes del tiempo, de las concentraciones atmosféricas de gases de efecto invernadero (GEI). Además, el término ruta (vía) pretende enfatizar que el resultado no se refiere a una concentración de GEI específica en un cierto plazo; o al resultado de cierto forzamiento radiativo, sino, principalmente, a la trayectoria seguida por el fenómeno, en el tiempo, para alcanzar el resultado. (Informe de la Reunión de Expertos del IPCC, Hacia nuevos escenarios para el análisis de las emisiones, el cambio climático, los impactos y las estrategias de respuesta, IPCC 2007)

Los RCP son cuatro escenarios que se han elegido para abarcar una amplia gama de posibles futuros:

- A. El RCP 8.5 es un escenario de funcionamiento tendencial, que considera el aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero a lo largo del tiempo con las mismas tendencias que en la actualidad y que conduce a altos niveles de concentración de gases de efecto invernadero,

- B. RCP6.0 es un escenario de estabilización en el que las emisiones aumentan rápidamente hasta 2060 y luego disminuyen,
- C. El RCP4.5 asume una acción más rápida para limitar las emisiones de gases de efecto invernadero con las emisiones alcanzando un máximo en 2040 y disminuyendo fuertemente hasta 2080,
- D. RCP2.6 describe un esfuerzo general para limitar el calentamiento global a menos de 2 ° C con las emisiones disminuyendo bruscamente después de 2020 y cero a partir de 2080 en adelante.

Los escenarios se modelaron utilizando los diferentes instrumentos incluidos en la herramienta “*KNMI, Climate Change Atlas*” del Departamento de Investigación y Desarrollo de Modelos Meteorológicos y Climáticos (RDWK), del “Instituto Meteorológico Real de Holanda” (KNMI).

Los RCP que se presentan son:

El RCP 8.5 una vía elevada, con un forzamiento radiativo que supera los 8,5 W/m² de aquí a 2100 para continuar aumentando durante algún tiempo,

El RCP4.5 una vía de estabilización” intermedia, en la que el forzamiento radiativo se estabilice en aproximadamente 4,5 W/m² a partir de 2100.

En la siguiente tabla se observan los resultados de los escenarios a corto (2039), medio (2069) y largo plazo (2100).

Tabla 5.5 Resultados de los modelos corridos con KNMI con dos escenarios a corto (2039), medio (2069) y largo plazo (2100).

Variable IPCC	Región	RCP 4.5			RCP 8.5		
		2039	2069	2100	2039	2069	2100
Temperatura máxima (°C)	Altiplano	0.9	1.8	1.9	0.9	2.9	4.3
	Media	0.9	1.7	1.8	0.8	2.6	4.2
	Huasteca	0.9	1.8	1.8	0.9	2.7	4.1
Temperatura mínima (°C)	Altiplano	1	1.8	1.8	1.3	2.8	4.3
	Media	1	1.7	1.9	0.9	2.9	4.8
	Huasteca	0.8	1	1.7	0.9	2.7	4.2
Precipitación (%)	Altiplano	-1.5	1	2	-1.5	-1	0.5
	Media	-2	-1	1	1	1.5	0.3
	Huasteca	-0.1	0	2	-1	2	0.5
Evapotranspiración (%)	Altiplano	1.8	3.2	3.8	2	5	6
	Media	1.7	3.5	4	2.1	4.1	6.8
	Huasteca	1	3.8	4	1.3	4.4	6.9
Contenido de Humedad en el Suelo (%)	Altiplano	0	0	0	0	0	0
	Media	1	0	0.1	0	0	0
	Huasteca	0	0	0	0	0	0
Humedad Relativa (%)	Altiplano	0.3	0.2	0.2	0.3	0.3	0.5
	Media	0.1	0.3	0.5	0.2	0.5	0.9
	Huasteca	0.1	0.2	6	0.4	0.6	0.8

Como puede observarse los resultados presentan poca variación entre las diferentes regiones, en términos generales se considera que el RCP más probable sea el 8.5, que marca un incremento para fin de siglo de un poco más de 4 grados para la temperatura máxima, en cambio, para la temperatura mínima el incremento alcanzará para la Zona media 4,8 °C y para el Altiplano y Zona Huasteca 4,3 y 4,2 °C respectivamente. Estas diferencias no corresponden con los análisis de las series de tiempo y consideramos que, aunque marcan una tendencia realmente

son de baja resolución. Para el caso de la precipitación el ruido es superior a la señal.

Ejemplo de escenarios climáticos.

GCM-CMIP5 (IPCC AR5 Atlas subset).

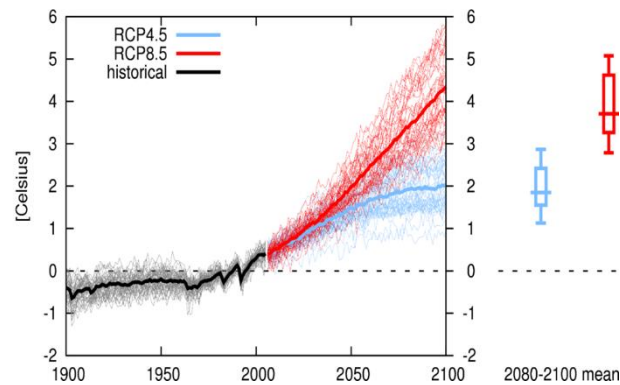


Figura 5.3 Escenarios RCP4.5 y RCP8.5 de temperatura mínima en Zona Altiplano.

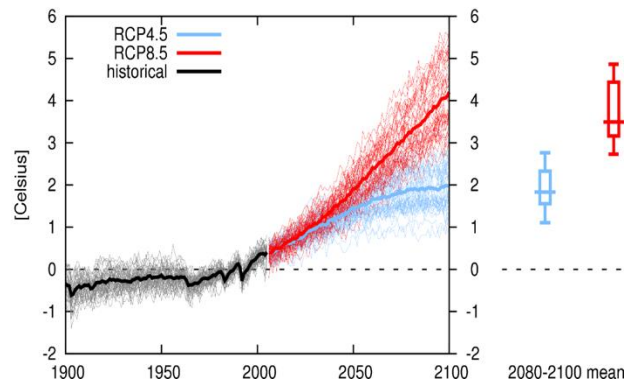


Figura 5.4 Escenarios RCP4.5 y RCP8.5 de temperatura máxima en Zona Altiplano.

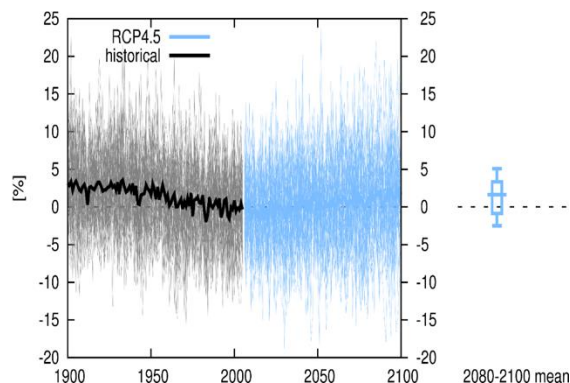


Figura 5.5 Escenario RCP4.5 de precipitación en Zona Altiplano.

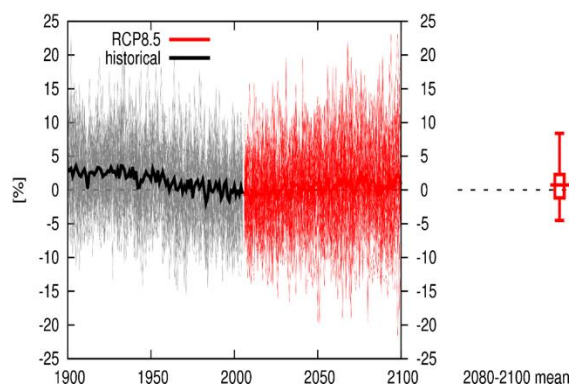


Figura 5.6 Escenario RCP8.5 de precipitación en Zona Altiplano.

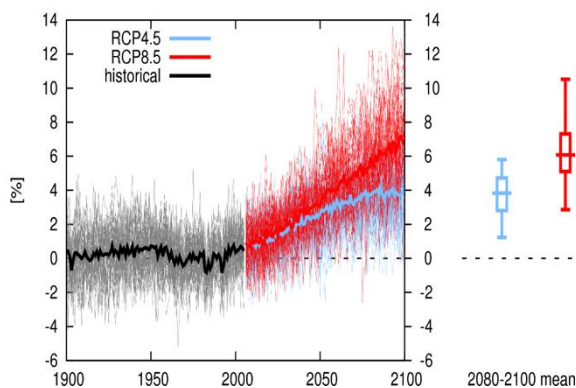
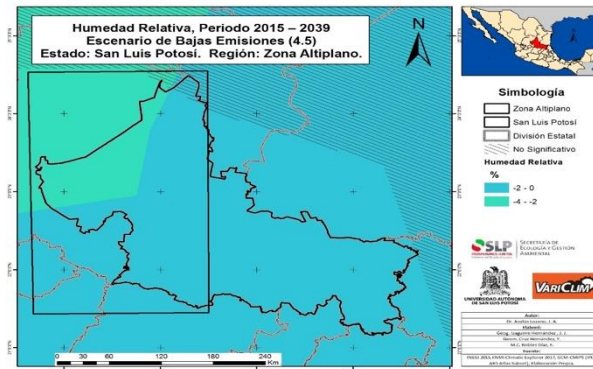


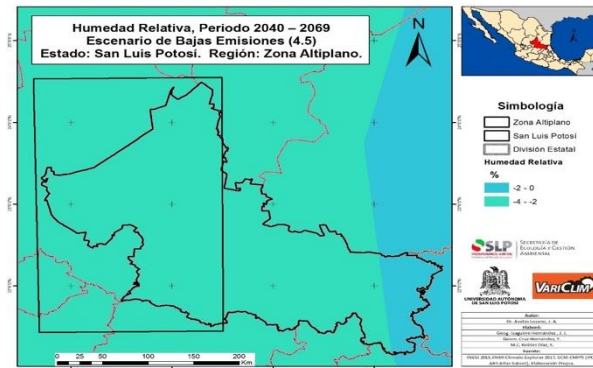
Figura 5.7 Escenarios RCP4.5 y RCP8.5 de evapotranspiración en Zona Altiplano.

Mapas climáticos Zona Altiplano.

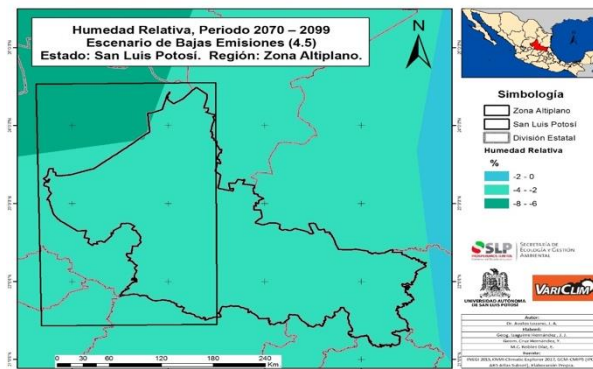
Humedad Relativa.



Mapa 5.26 Humedad relativa periodo 2015-2039 (RCP4.5) en Zona Altiplano.

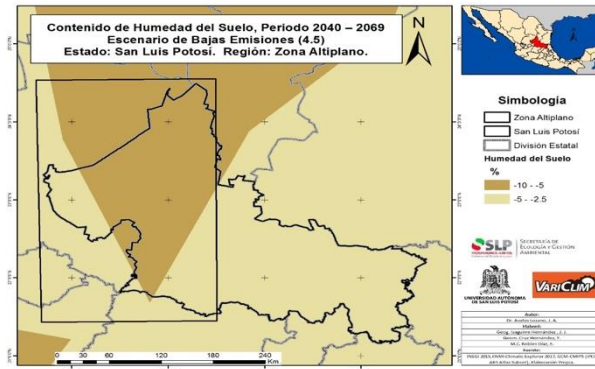


Mapa 5.27 Humedad relativa periodo 2040-2069 (RCP4.5) en Zona Altiplano.

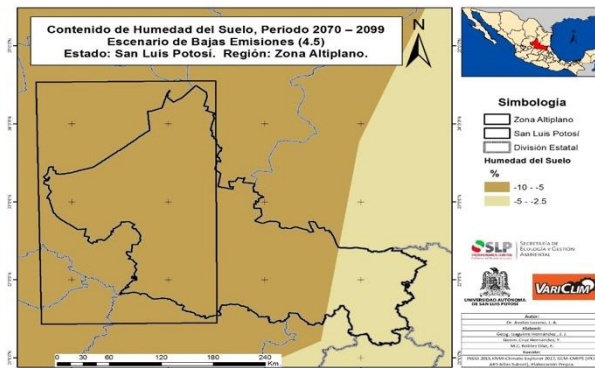


Mapa 5.28 Humedad relativa periodo 2070-2099 (RCP4.5) en Zona Altiplano.

Contenido de humedad del suelo.

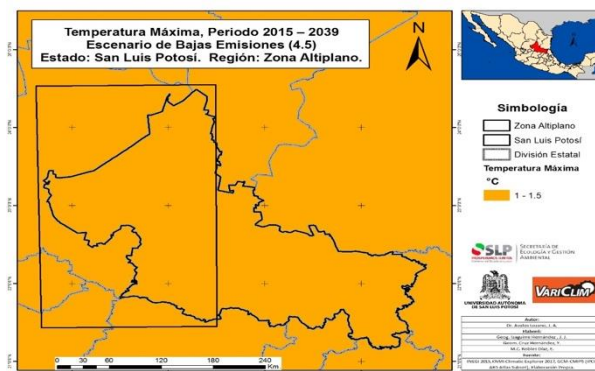


Mapa 5.29 Contenido de humedad del suelo periodo 2040-2069 (RCP4.5) en Zona Altiplano.

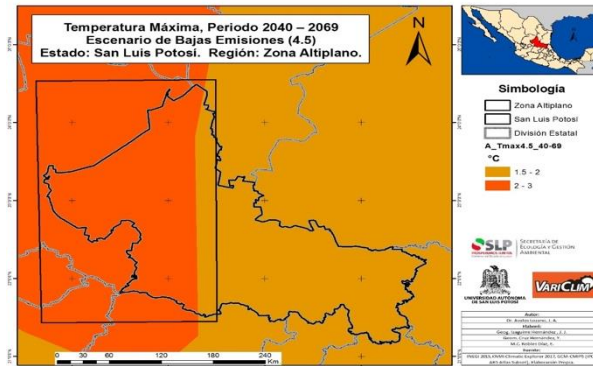


Mapa 5.30 Contenido de humedad del suelo periodo 2070-2099 (RCP4.5) en Zona Altiplano.

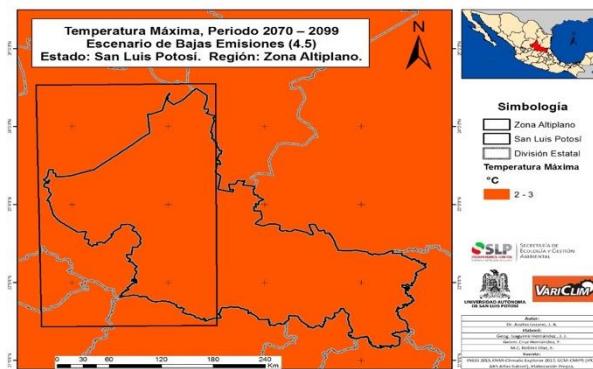
Temperatura máxima.



Mapa 5.31 Temperatura máxima periodo 2015-2039 (RCP4.5) en Zona Altiplano.

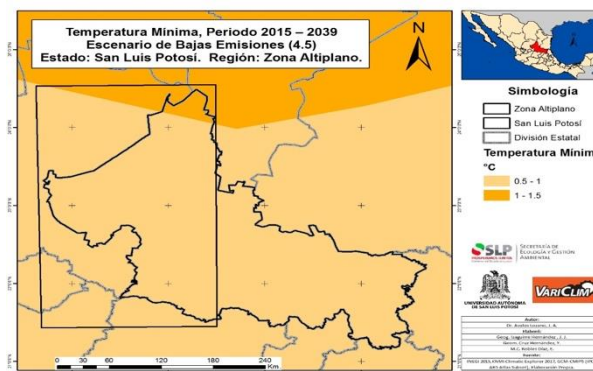


Mapa 5.32 Temperatura máxima periodo 2040-2069 (RCP4.5) en Zona Altiplano.

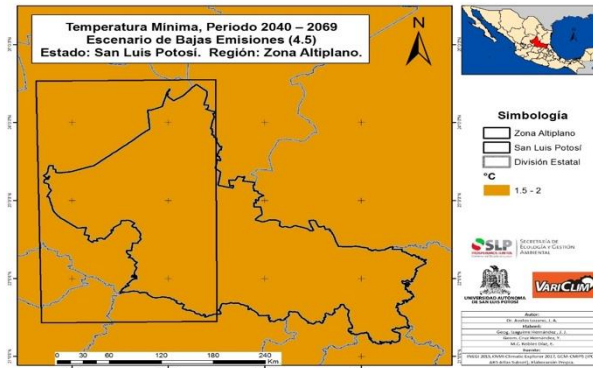


Mapa 5.33 Temperatura máxima periodo 2070-2099 (RCP4.5) en Zona Altiplano.

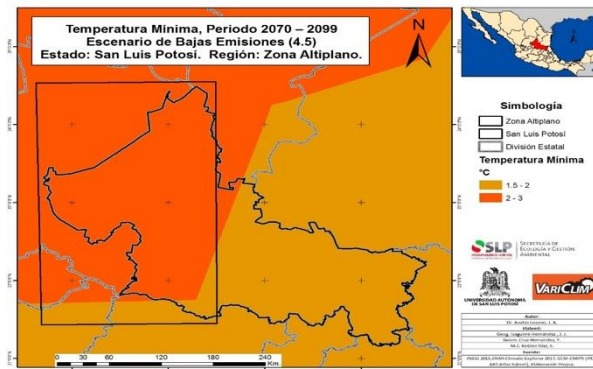
Temperatura mínima.



Mapa 5.34 Temperatura mínima periodo 2015-2039 (RCP4.5) en Zona Altiplano.



Mapa 5.35 Temperatura mínima periodo 2040-2069 (RCP4.5) en Zona Altiplano.



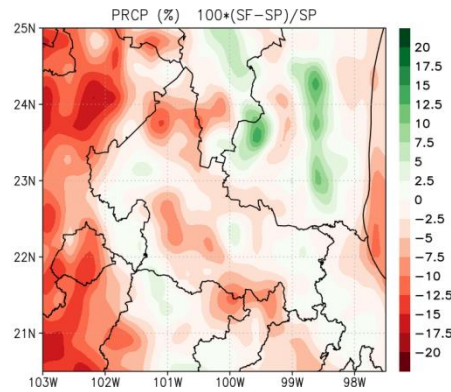
Mapa 5.36 Temperatura mínima periodo 2070-2099 (RCP4.5) en Zona Altiplano.

5.2.2 Validación de escenarios con la herramienta WRF (Weather Research and Forecasting Model)

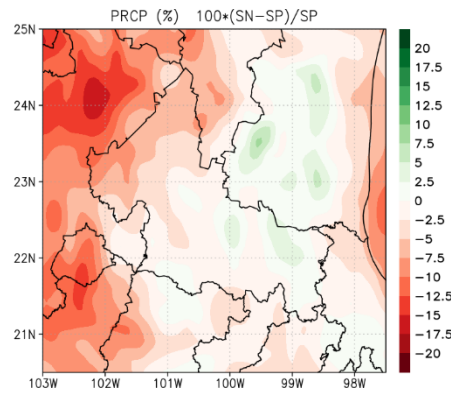
Con la finalidad de resolver el problema de baja resolución de los modelos RCP y validarlos se utilizó el modelo WRF (*Weather Research and Forecasting Model*) que es un sistema de predicción numérica a mesoescala, de última generación, diseñado tanto para la investigación atmosférica como para las necesidades de predicción.

Cuenta con dos núcleos dinámicos, un sistema de asimilación de datos y una arquitectura de software que facilita la computación paralela y la extensibilidad del sistema. El modelo sirve a una amplia gama de aplicaciones meteorológicas a través de escalas de decenas de metros a miles de kilómetros. El esfuerzo para desarrollar el WRF comenzó en la última parte de la década de 1990 y fue una colaboración principalmente entre el Centro Nacional de Investigación Atmosférica (NCAR), la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (representada por los Centros Nacionales de Predicción Ambiental, El Laboratorio de Sistemas de Pronóstico (FSL), la Agencia de la Fuerza Aérea (AFWA), el Laboratorio Naval de Investigación, la Universidad de Oklahoma y la Administración Federal de Aviación (FAA).

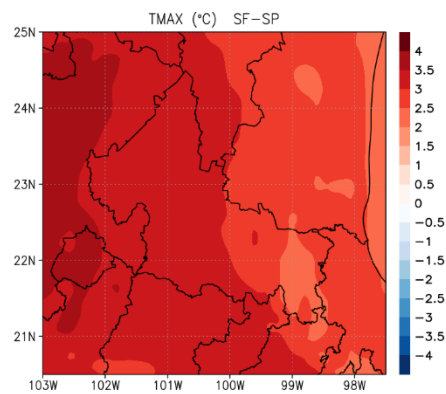
WRF puede generar simulaciones atmosféricas usando datos reales (observaciones, análisis) o condiciones idealizadas. WRF ofrece un pronóstico operacional de una plataforma flexible y computacionalmente eficiente, a la vez que proporciona los últimos avances en física, números y asimilación de datos aportados por los desarrolladores de la comunidad de investigación muy amplia. WRF está actualmente en uso operacional en NCEP, AFWA, y otros centros.



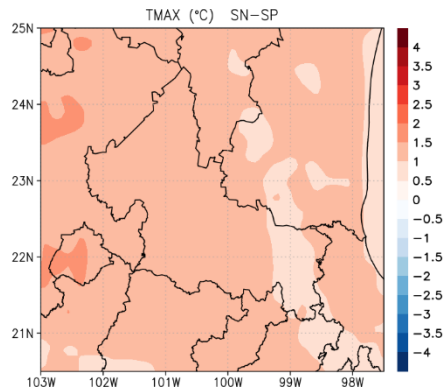
Mapa 5.37 Modelo WRF variación en la precipitación a largo plazo



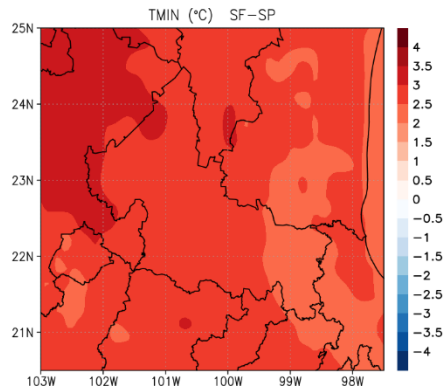
Mapa 5.38 Modelo WRF variación en la precipitación a corto plazo



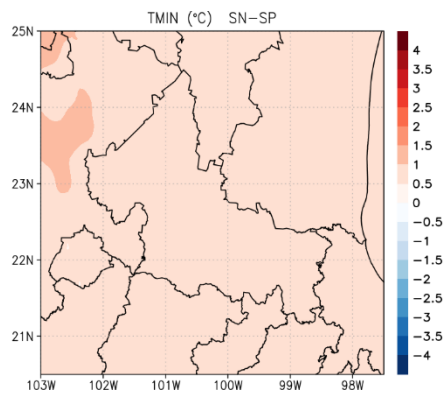
Mapa 5.39 Modelo WRF variación en la temperatura máxima a largo plazo



Mapa 5.42 Modelo WRF variación en la temperatura máxima a corto plazo



Mapa 5.43 Modelo WRF variación en la temperatura mínima a largo plazo



Mapa 5.44 Modelo WRF variación en la temperatura mínima a corto plazo

En términos generales se observa que los datos concuerdan con los resultados de los modelos RCP de bajo forzamiento, lo que se considera poco probable a la luz de los resultados obtenidos en el análisis de las tendencias 1970-2010. Sin embargo, es notable la mayor resolución del modelo WRF y que en términos generales las tendencias coinciden con los resultados de los RCP.

5.2.3 Modelación de índices climáticos con la herramienta KNMI

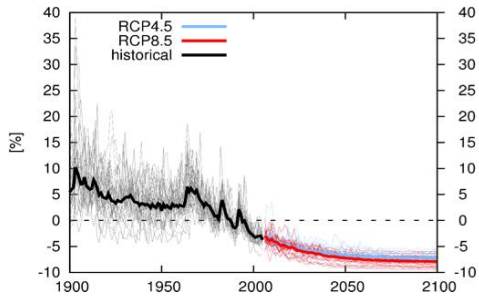
Utilizando la herramienta KNMI se calcularon los índices extremos de importancia ecológica o social, el análisis de los datos extremos nos permite evaluar si la distribución de probabilidades de los datos climáticos se está modificando adicionalmente nos proporciona información importante sobre los impactos producidos por el cambio climático en los diferentes sectores estratégicos.

Tabla 5.6 Resultados de los índices climáticos corridos con KNMI con dos escenarios a corto (2039), medio (2069) y largo plazo (2100).

	Región	2039		2069		2100	
		RCP4.5 (%)	RCP8.5 (%)	RCP4.5 (%)	RCP8.5 (%)	RCP4.5 (%)	RCP8.5 (%)
Longitud máxima del periodo seco (CDD)	Región						
	Altiplano	1	1	2	5	4	8
	Media	1	2	2	3	3	8
	Huasteca	1	1	3	4	5	8
Longitud máxima del periodo húmedo (CWD)	Región						
	Altiplano	0	0	0	1.3	0	-3
	Media	1	0	1	-2	1	-2
	Huasteca	0	-1	0	-2	1	-2
Rango diario de temperatura (DTR)	Región						
	Altiplano	-0.01	-0.1	-0.01	-0.12	-0.03	-0.18
	Media	-0.02	-0.1	-0.04	-0.12	-0.05	-0.18
	Huasteca	-0.01	-0.1	-0.03	-0.14	-0.05	-0.18
Número de días fríos (FD)	Región						
	Altiplano	-50	-50	-80	-80	-80	-80
	Media	-50	-60	-60	-100	-70	-100
	Huasteca	-50	-50	-60	-100	-80	-100
Duración de la estación de crecimiento (GSL)	Región						
	Altiplano	0.01	0.01	0.03	0.03	0.06	0.04
	Media	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
	Huasteca	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Precipitaciones anuales en días húmedos (PRCPTOT)	Región						
	Altiplano	0	0	3	1	3	2
	Media	0	0	1	0	3	1
	Huasteca	0	0	2	0	3	1
Número de días	Región						

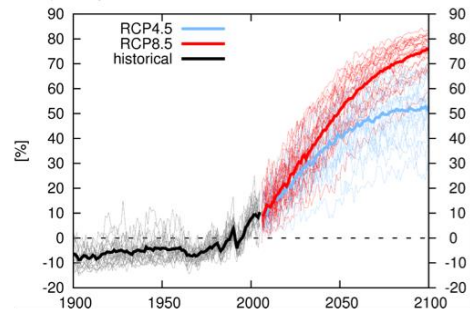
	Región	2039		2069		2100	
		RCP4.5 (%)	RCP8.5 (%)	RCP4.5 (%)	RCP8.5 (%)	RCP4.5 (%)	RCP8.5 (%)
Longitud máxima del periodo seco (CDD) por año con PRCP ≥ 1mm (R1MM)	Región						
	Altiplano	1	1	2	5	4	8
	Media	1	2	2	3	3	8
	Huasteca	1	1	3	4	5	8
	Altiplano	-1	-3	-1	-4	-3	-6
	Media	-2	-3	-2	-3	-2	-6
	Huasteca	-2	-3	-2	-4	-2	-7
Número de días por año con PRCP ≥ 10mm (R10MM)	Región						
	Altiplano	0	0.5	1	0	1	-2
	Media	0	0	0	-1	2	-2
	Huasteca	0	0	1	0	2	-1
Número de días por año con PRCP ≥ 20mm (R20MM)	Región						
	Altiplano	0	1	5	8	5	12
	Media	4	4	5	7	5	10
	Huasteca	0	1	2	5	3	5
Precipitación anual máxima consecutiva de 5 días (Rx5day)	Región						
	Altiplano	3	2	5	10	6	15
	Media	2	3	5	6	7	15
	Huasteca	4	5	4	8	8	15
Porcentaje de noches frías <10th percentil (TN10p)	Región						
	Altiplano	-6	-7	-7	-8	-7	-8
	Media	-6	-7	-7	-8	-7	-8
	Huasteca	-6	-7	-7	-8	-8	-9
Porcentaje de noches calientes <90th percentil (TN90p)	Región						
	Altiplano	35	44	48	62	55	75
	Media	40	50	50	70	55	75
	Huasteca	40	50	50	70	55	75
Porcentaje de días fríos <10th percentil (TX10p)	Región						
	Altiplano	-5	-6	-7	-8	-7	-8
	Media	-6	-6	-7	-8	-7	-8
	Huasteca	-6	-7	-7	-8	-7	-8
Porcentaje de días calientes <90th percentil (TX90p)	Región						
	Altiplano	36	40	48	60	52	70
	Media	40	45	50	65	55	72
	Huasteca	40	45	55	65	55	75

TN10p change 22-24N, -100--102E wrt 1980-2000 CMIP5 one membe



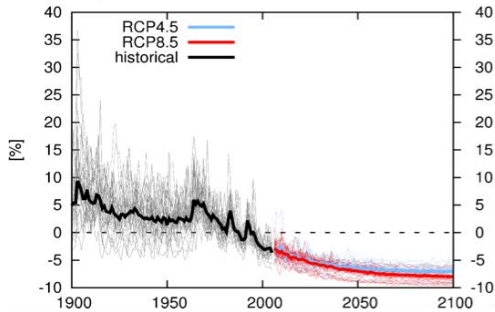
Porcentaje de noches frías <math>< 10</math>
Percentil Zona Altiplano

TN90p change 22-24N, -100--102E wrt 1980-2000 CMIP5 one memb



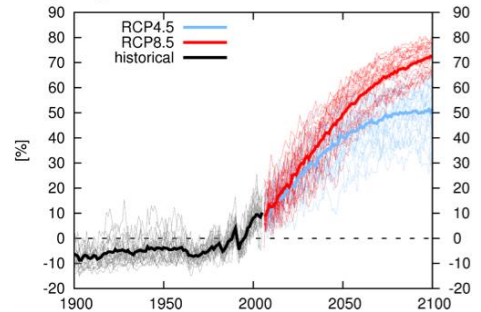
Porcentaje de noches calientes > 90
Percentil Zona Altiplano

TX10p change 22-24N, -100--102E wrt 1980-2000 CMIP5 one meml



Porcentaje de días fríos Tx 10p
90p

TX90p change 22-24N, -100--102E wrt 1980-2000 CMIP5 one meml



Porcentaje de días calientes Tx

Los indicadores de RCP 8.5 en los que se presentan cambios más importantes son los porcentajes de noches y días fríos que disminuyen para el 2100 en cerca del 8%; mientras las noches y días calientes aumentarán para la misma fecha en cerca del 75%, lo que significará una disminución sustancial de nuestra producción de granos básicos.

5.3 ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO BASADOS EN SERIES DE TIEMPO (ECCST), ENFOQUE BOTTOM-UP

5.3.1 Tendencias interanuales

No puede negarse la importancia de los modelos basados en las “Rutas de Concentración Representativas” RCP, sin embargo, al intentar utilizarlos en aplicaciones locales de alta resolución, se encontraron algunas dificultades. Los RCP fueron diseñados bajo la premisa que el forzante radiativo dependiente de la concentración de Compuestos de Efecto Invernadero (CEI) es el elemento más importante del cambio climático, por consiguiente, son esencialmente ejercicios de sensibilidad del clima al incremento de este forzante global, que depende del incremento en la concentración de CEI en la atmósfera y en menor proporción a las variaciones en el albedo de la tierra –a su vez, determinado por cambios en el uso de la tierra, nubosidad y extensión de la criósfera –. Dado que tanto la concentración de CEI como el cambio de uso de suelo dependen de factores sociales y económicos, de los que desconocemos las leyes generales, no es posible construir pronósticos, sino simples escenarios.

No puede negarse que los RCP son útiles para determinar tendencias regionales de la temperatura, pero tienen el problema de una alta incertidumbre y una baja resolución, provocadas por la parametrización de muchos de los procesos físicos y biológicos, como los relacionados con las nubes o la variación en la cobertura vegetal o la humedad del suelo, que se presentan a escalas de mayor resolución y no pueden ser adecuadamente modelados, por consiguiente, sus propiedades conocidas deben ser promediadas a lo largo de la escala de menor resolución (IPCC, Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 2013).

Por otro lado, el ciclo hidrológico es difícil de modelar, y por ello hay numerosas incertidumbres en las proyecciones que resultan de considerar sólo el efecto de los CEI. Por ejemplo, a escala regional, los flujos de humedad son la clave para establecer si las posibilidades de incremento o disminución de las lluvias cambiarán con respecto al presente y no son considerados en los RCP.

Además de las emisiones de los CEI, otros forzantes humanos de primer orden son importantes para comprender la conducta futura del clima. Estos son espacialmente heterogéneos e incluyen el efecto de los aerosoles sobre las nubes y la precipitación asociada; la influencia de la deposición de aerosoles (vgr.: carbón negro, hollín); el nitrógeno reactivo; y los cambios en el uso/cobertura de la tierra (Roger A. Pielke, 2011).

Por estas razones, en este apartado se utilizó una aproximación de “abajo hacia arriba” para estimar los potenciales impactos del cambio climático, basada en la respuesta histórica de diferentes socioecosistemas al Clima (modelos que consideran la vulnerabilidad).

Los escenarios de cambio climático basados en series de tiempo (ECCST) se construyeron utilizando una aproximación de “abajo hacia arriba”, basada en la respuesta histórica y específica de diferentes socioecosistemas al clima (modelos que consideran la vulnerabilidad). Los escenarios son necesariamente de corto plazo (no más de 25 años para series de tiempo de 100 años), basados en la observación de las tendencias de datos climáticos y su relación con fenómenos: físicos, biológicos, económicos y sociales; y la vulnerabilidad de los diferentes sistemas socioambientales. Los ECCST se compararon con los RCP para evaluar y validar su aplicabilidad.

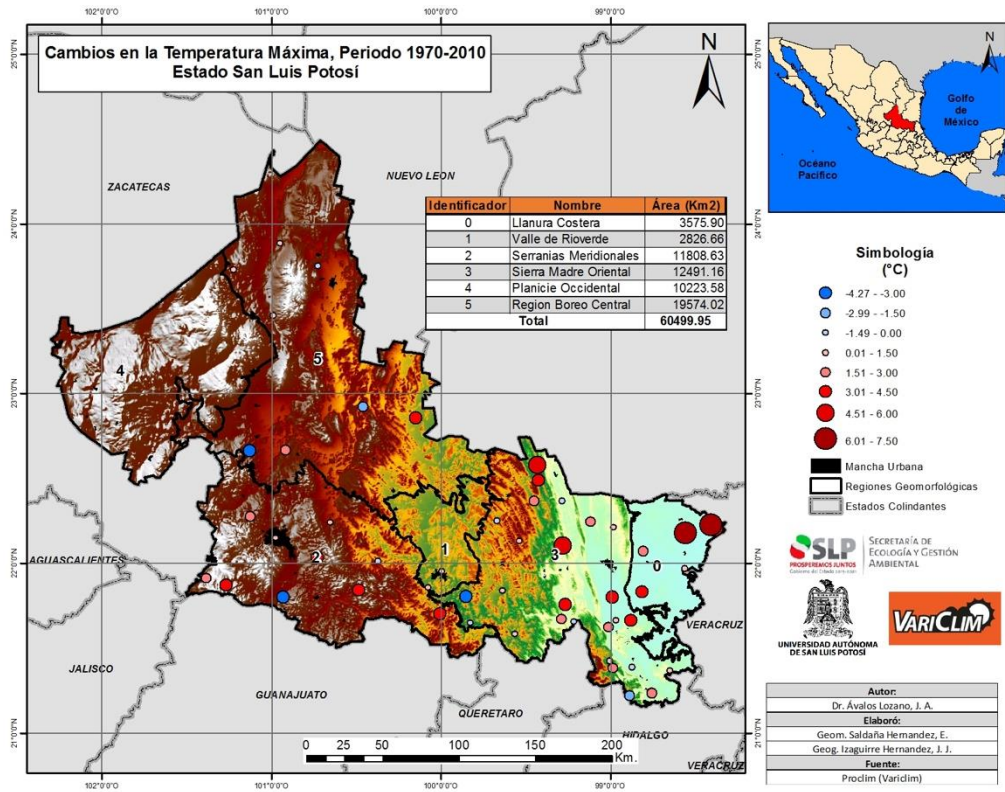
En resumen, las proyecciones obtenidas con los modelos RCP, son de resolución gruesa, mientras que los impactos importantes para aplicaciones de planeación deben ser de resolución fina, representados en escalas aplicables a nivel local.

En los siguientes mapas observaremos los incrementos de temperatura máxima, temperatura mínima y precipitación ocurridos y documentados para el periodo 1970-2010, solo se incluyen las variaciones estadísticamente significativas.

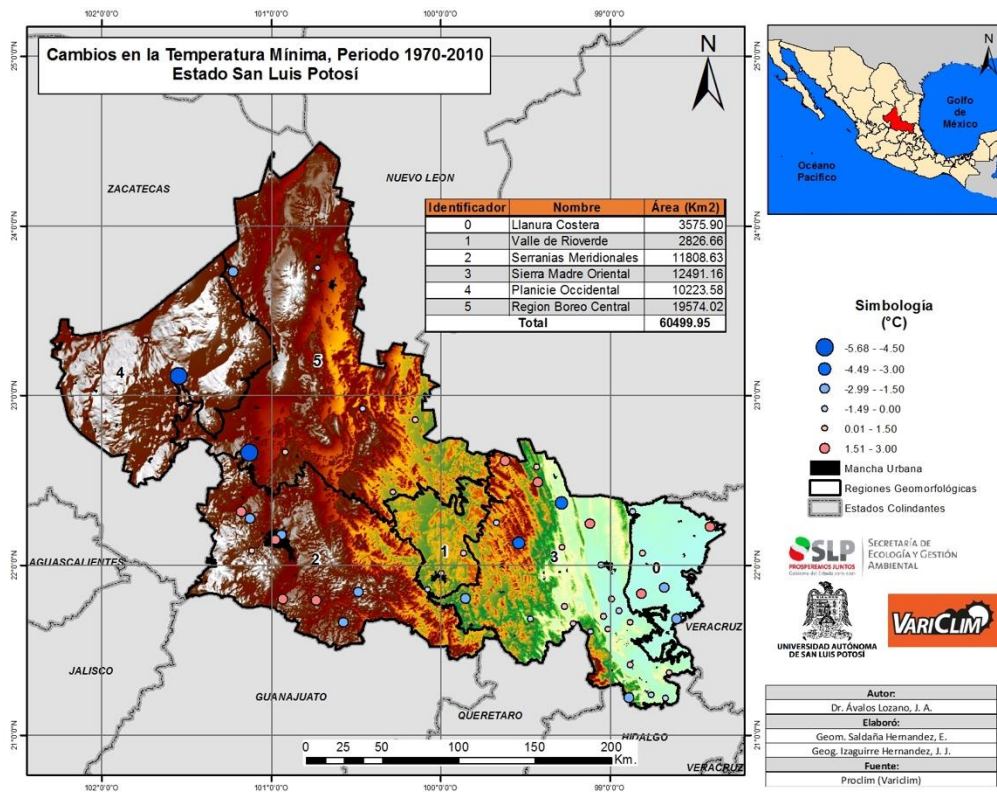
Como puede apreciarse en el mapa 5.45 los cambios en la temperatura máxima en San Luis Potosí, en el periodo 1970-2010, presentan diferentes tendencias de variación, siendo las regiones más afectadas Huasteca y Sierra Madre Oriental, donde se aprecian variaciones de 3 a 7 °C, con mucho, superiores al peor de los escenarios RCP de largo plazo.

Para la temperatura mínima (mapa 5.46) los cambios, en el periodo 1970-2010, presentan diferentes tendencias de variación, siendo las regiones más afectadas Huasteca y Sierra Madre Oriental, donde se aprecian variaciones de 1 a 3 °C, superiores al peor de los escenarios RCP de corto y mediano plazo.

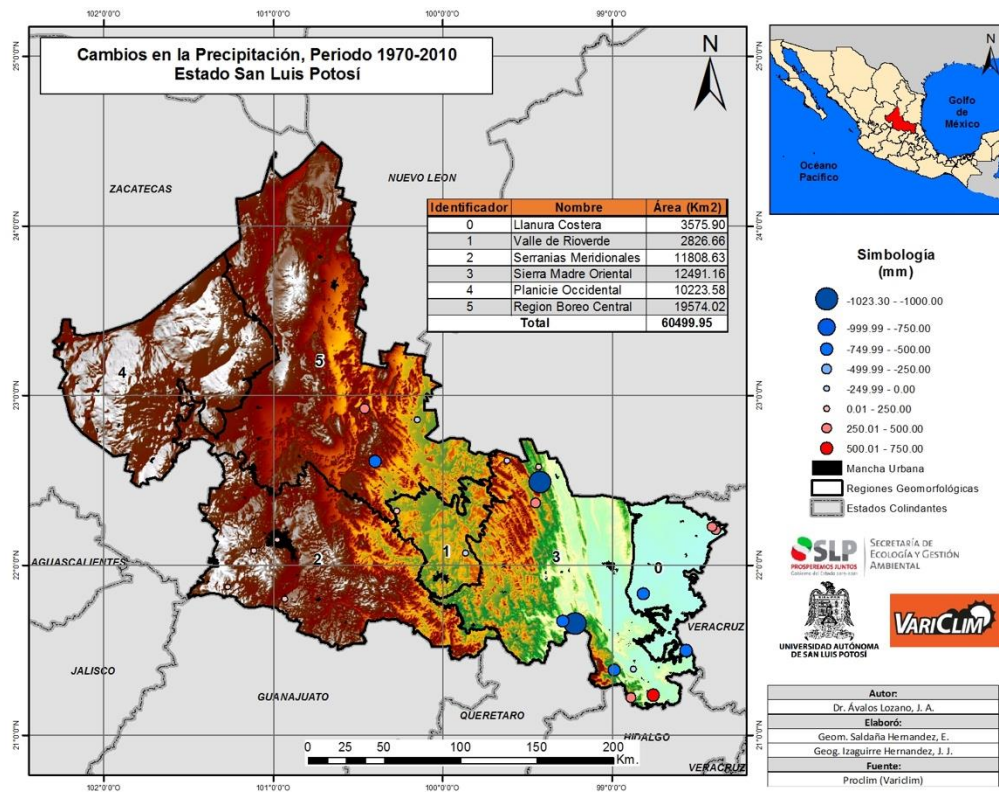
Para la precipitación (mapa 5.47) los cambios, en el periodo 1970-2010, presentan diferentes tendencias de variación, siendo las regiones más afectadas Huasteca y Sierra Madre Oriental, donde se aprecian variaciones negativas de 200 a 500 mm, superiores al peor de los escenarios RCP de corto y mediano plazo.



Mapa 5.45 cambios en la temperatura máxima en San Luis Potosí, en el periodo 1970-2010



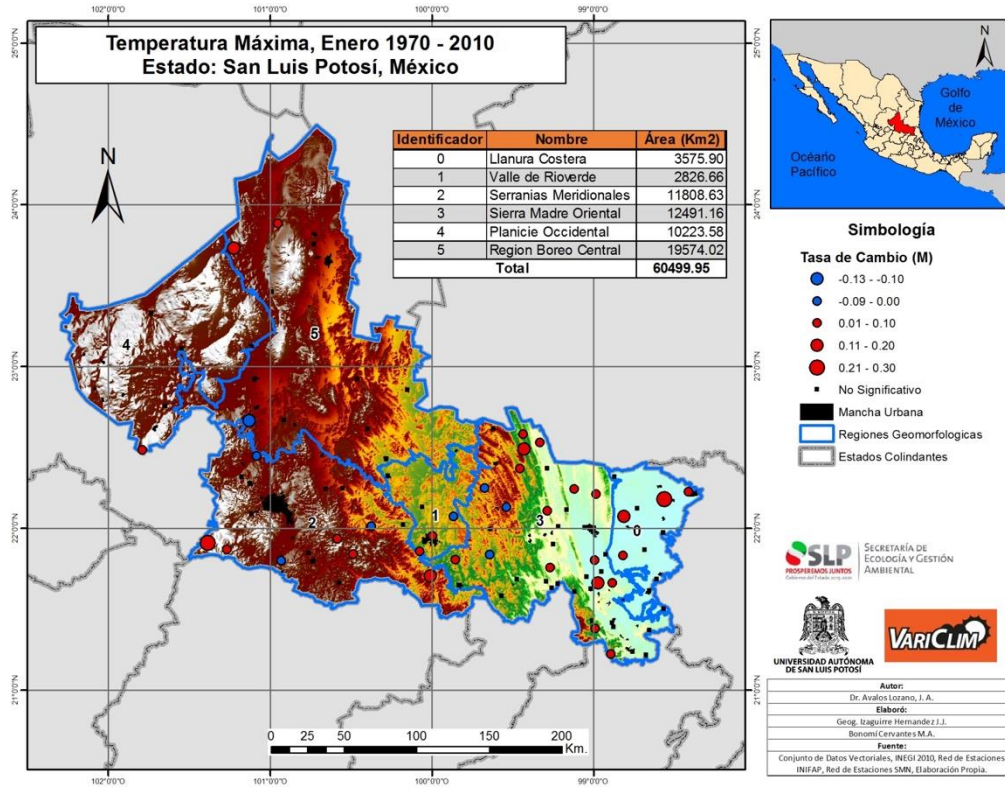
Mapa 5.46 cambios en la temperatura mínima en San Luis Potosí, en el periodo 1970-2010



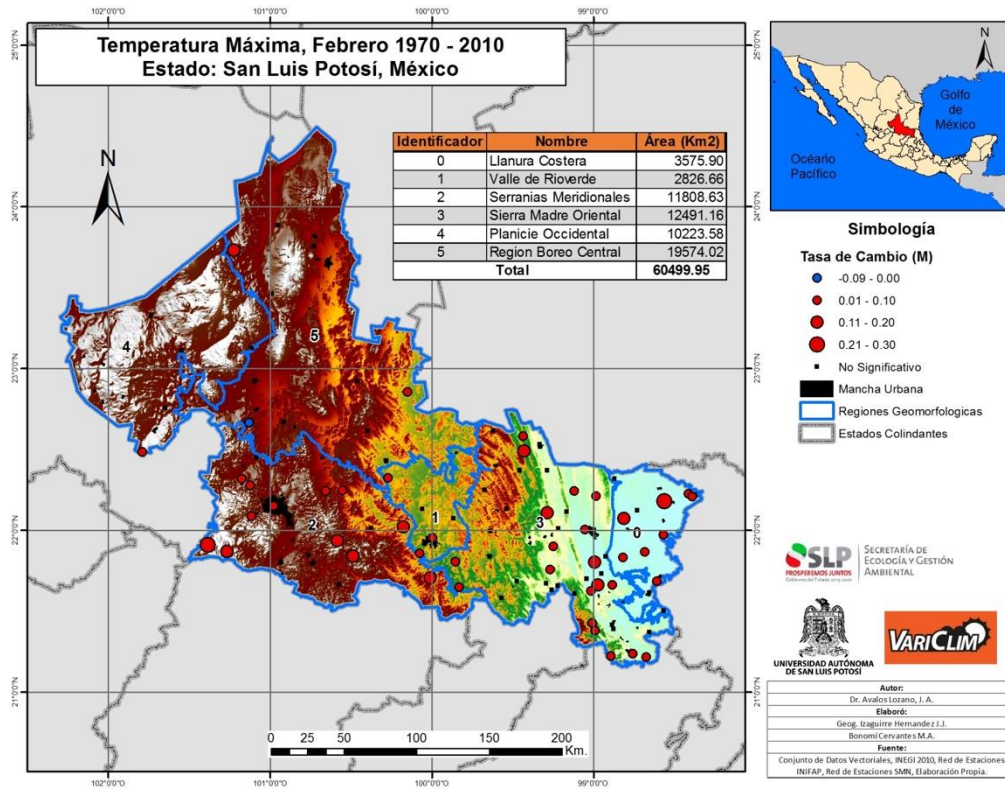
Mapa 5.47 cambios en la precipitación en San Luis Potosí, en el periodo 1970-2010

5.3.2 Tendencias intraestacionales

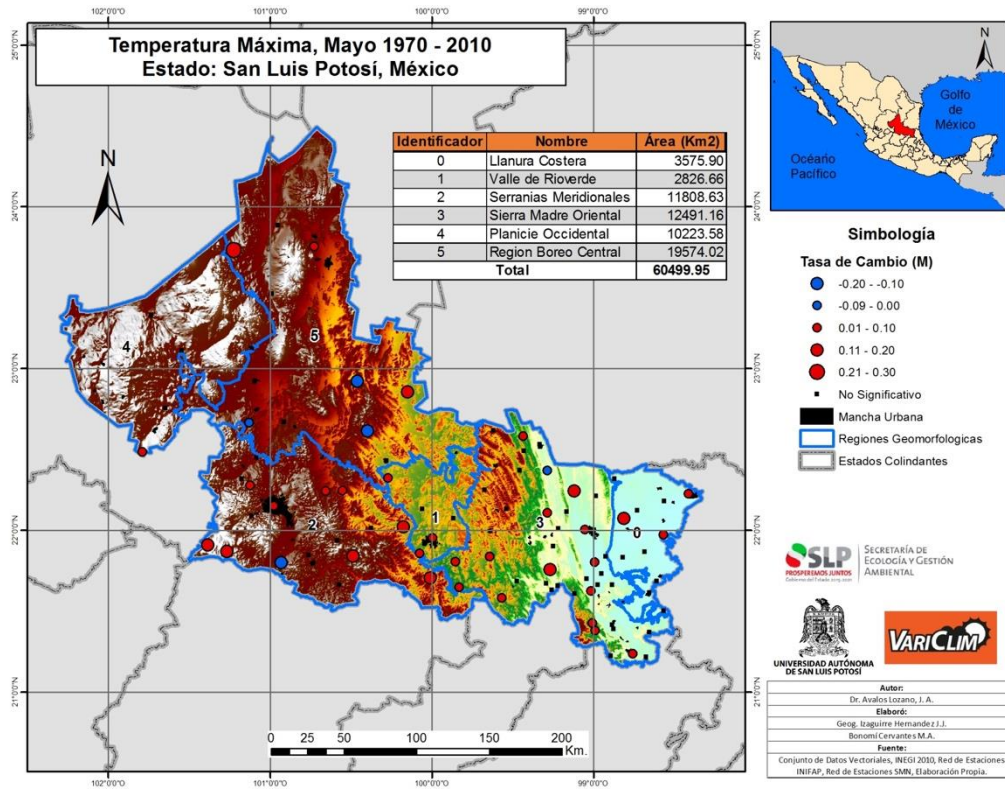
Adicionalmente se determinaron las tendencias intraestacionales que se representan en los siguientes mapas, exclusivamente los meses y estaciones con tendencias estadísticamente significativas.



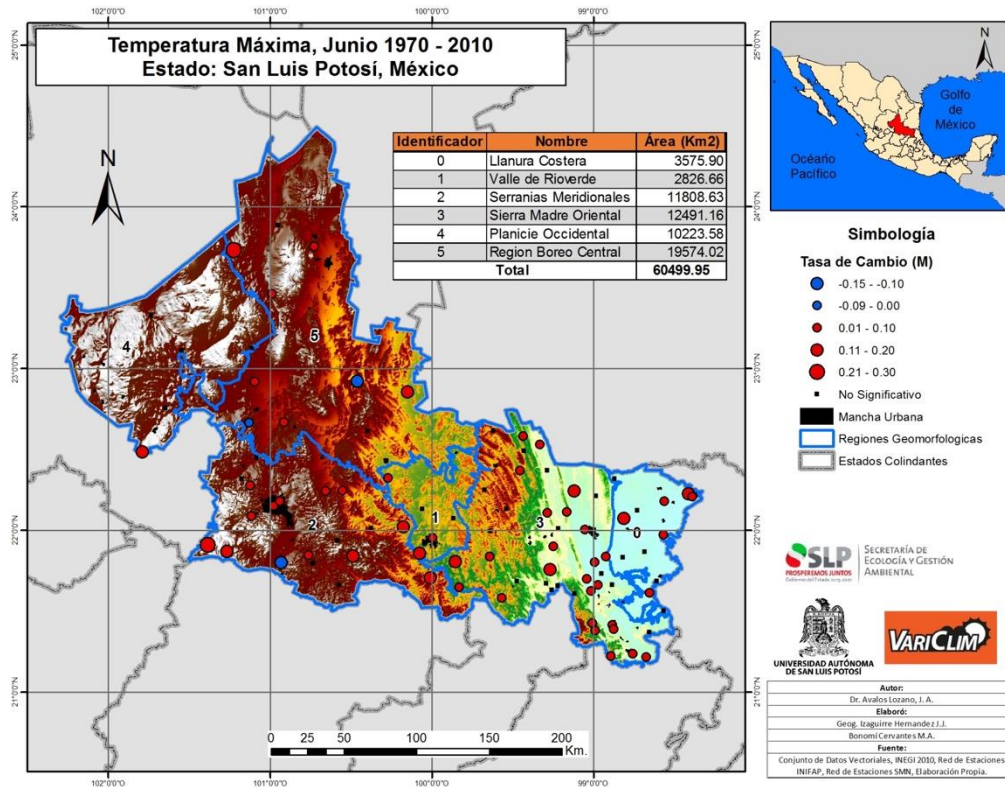
Mapa 5.48 cambios en la temperatura máxima en el mes de enero, en San Luis Potosí, para el periodo 1970-2010



Mapa 5.49 cambios en la temperatura máxima en el mes de febrero, en San Luis Potosí, para el periodo 1970-2010



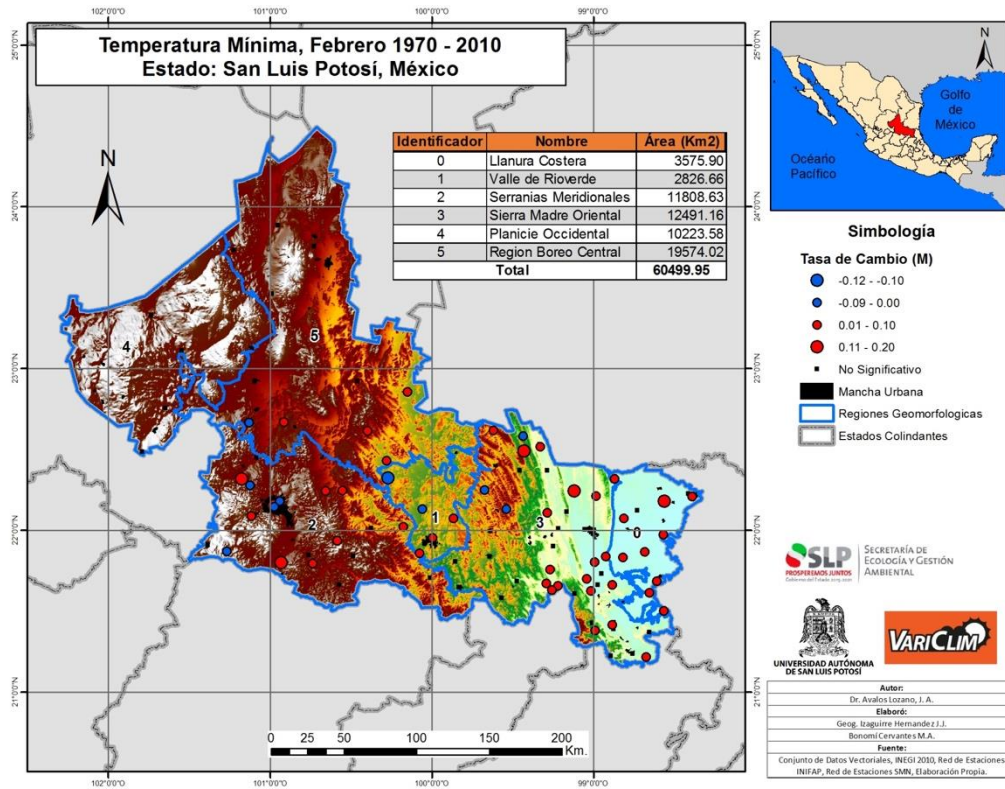
Mapa 5.50 cambios en la temperatura máxima en el mes de mayo, en San Luis Potosí, para el periodo 1970-2010



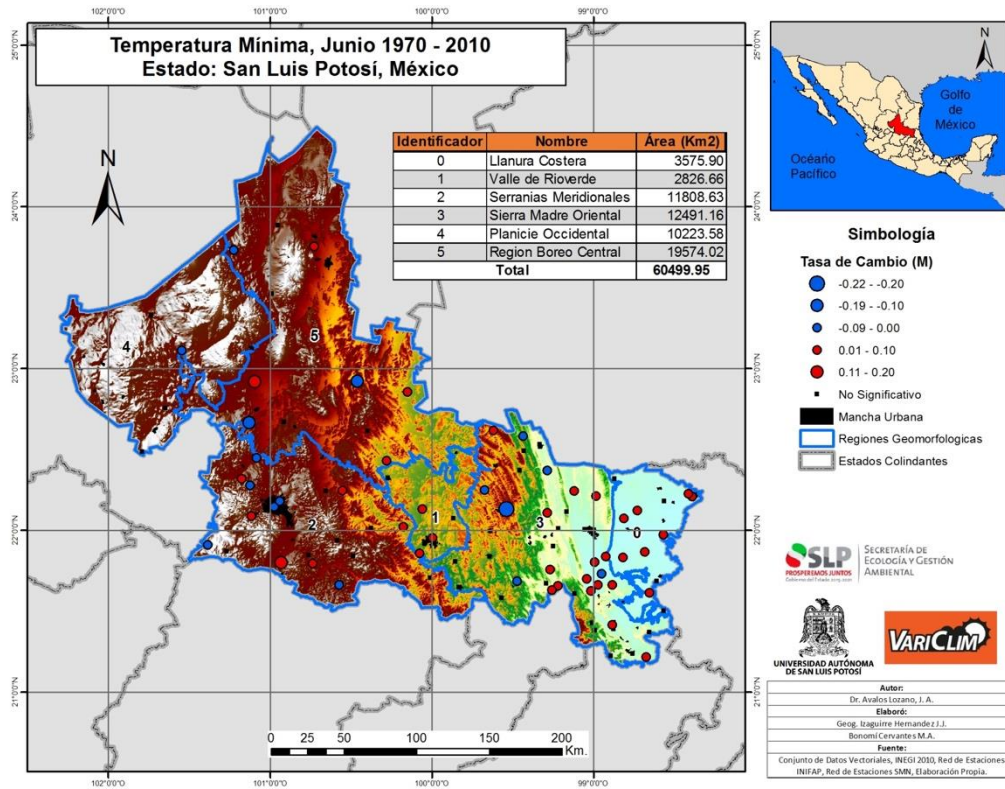
Mapa 5.51 cambios en la temperatura máxima en el mes de junio, en San Luis Potosí, para el periodo 1970-2010

Como puede apreciarse, la temperatura máxima aumentó en la Planicie Costera y en Sierra Madre Oriental, en los meses de enero y febrero, lo cual representa un problema importante para los ecosistemas y cultivos de temporal, pues enero y febrero son los meses más secos del año y un incremento en la temperatura máxima provoca mayor demanda de agua.

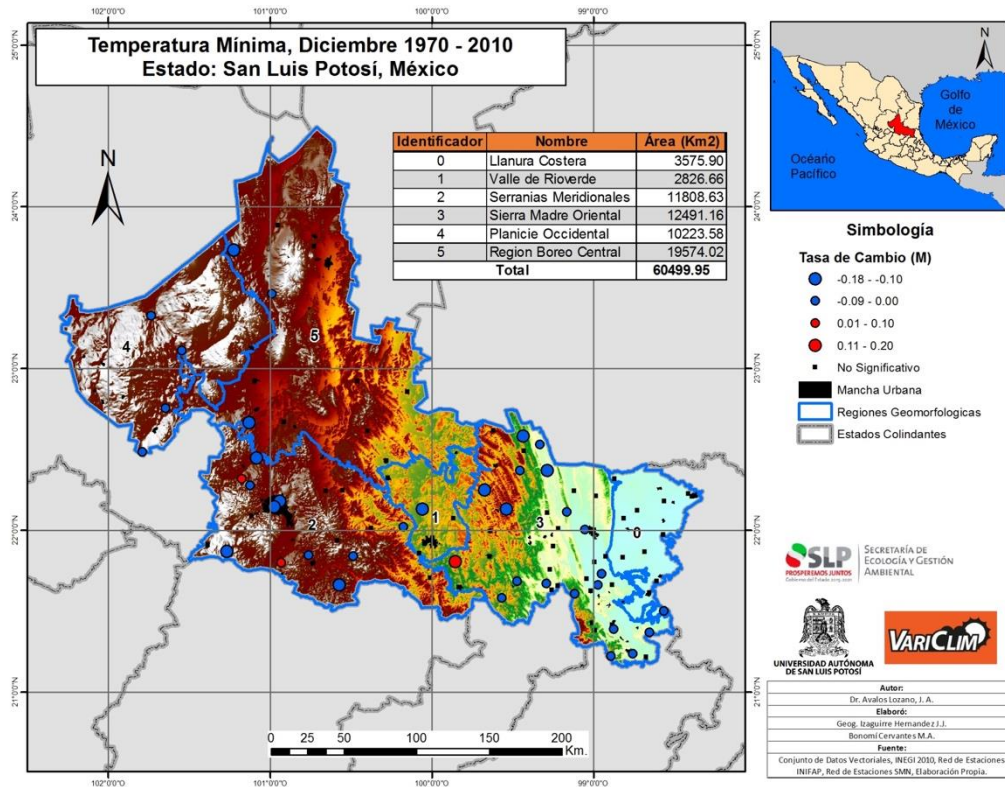
Por otro lado, la temperatura máxima aumentó en la Planicie Costera y en Sierra Madre Oriental, en los meses de mayo y junio, lo cual representa un problema muy importante para los ecosistemas, pues estos son los meses más calientes del año y un incremento en la temperatura máxima provoca una mayor demanda de agua.



Mapa 5.52 cambios en la temperatura mínima en el mes de febrero, en San Luis Potosí, para el periodo 1970-2010



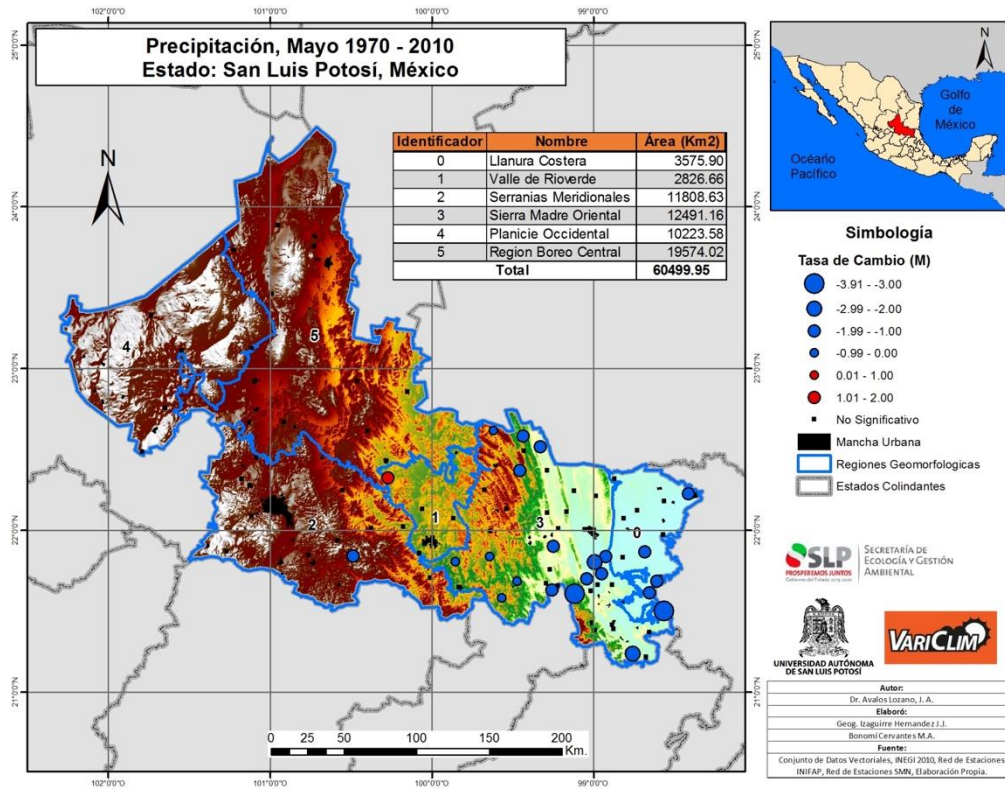
Mapa 5.53 cambios en la temperatura mínima en el mes de junio, en San Luis Potosí, para el periodo 1970-2010



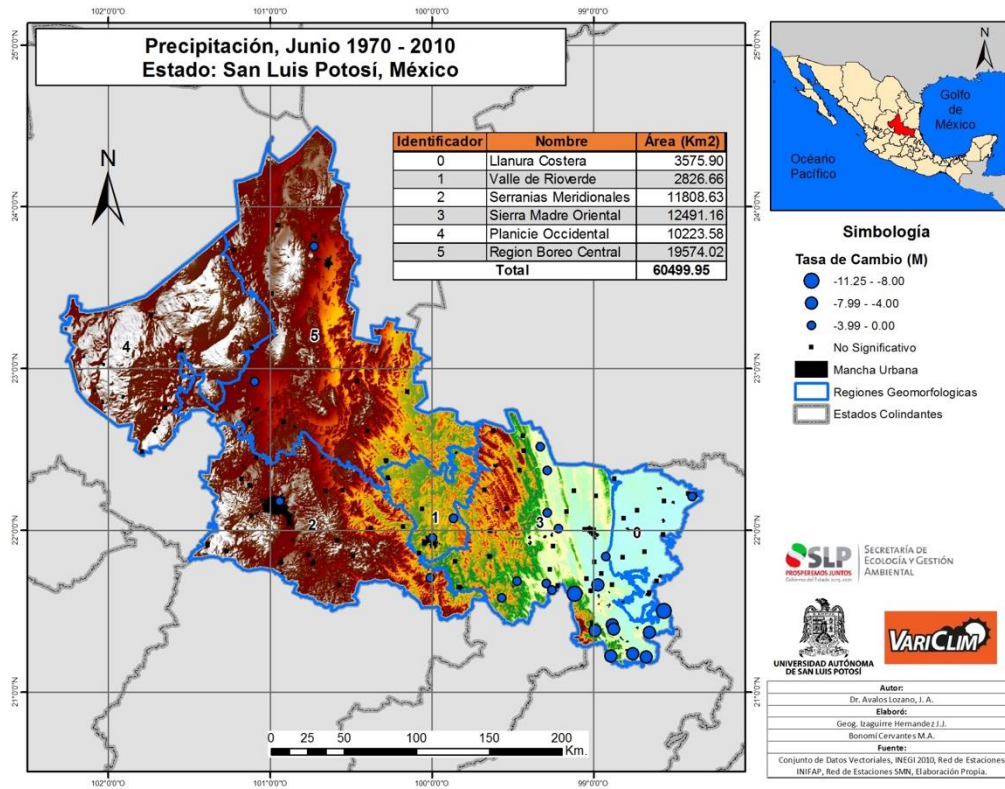
Mapa 5.54 cambios en la temperatura mínima en el mes de diciembre, en San Luis Potosí, para el periodo 1970-2010

La temperatura mínima aumentó en la Planicie Costera y en Sierra Madre Oriental, particularmente en los meses de febrero y junio lo cual representa un problema importante para los ecosistemas y cultivos de temporal, dado que el incremento en las noches calientes provoca una disminución en la producción de granos básicos, particularmente en la primavera-verano.

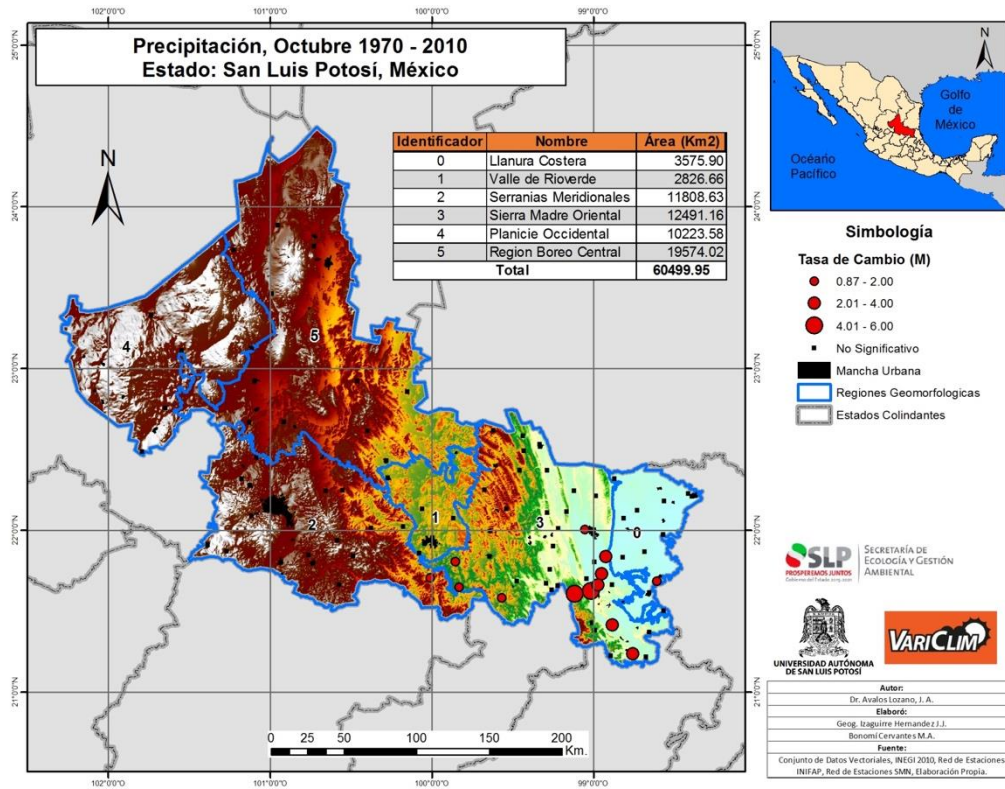
Por otro lado, la temperatura mínima disminuyó en la Planicie Costera, Sierra Madre Oriental y Serranías Meridionales el mes de diciembre, lo cual representa un problema muy importante para los ecosistemas y cultivos de otoño-invierno, debido al aumento del riesgo de heladas negras.



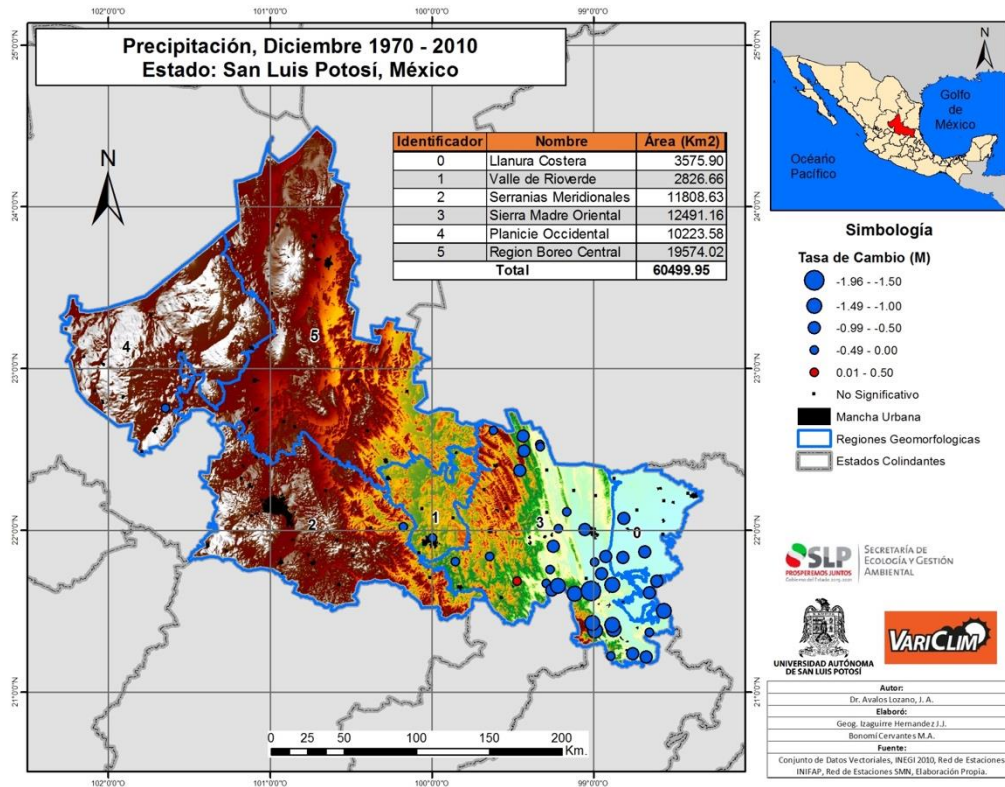
Mapa 5.55 cambios en la precipitación en el mes de mayo, en San Luis Potosí, para el periodo 1970-2010



Mapa 5.56 cambios en la precipitación en el mes de junio, en San Luis Potosí, para el periodo 1970-2010



Mapa 5.57 cambios en la precipitación en el mes de octubre, en San Luis Potosí, para el periodo 1970-2010



Mapa 5.57 cambios en la precipitación en el mes de diciembre, en San Luis Potosí, para el periodo 1970-2010

La precipitación disminuyó en la Planicie Costera y en Sierra Madre Oriental, en los meses de mayo y junio lo que es importante para los ecosistemas y cultivos de temporal, dado que estos meses son los más calientes del año, en la peor de las combinaciones en las dos regiones aumenta la demanda de agua y disminuye la disponibilidad.

En cambio, la precipitación aumentó en la Planicie Costera y Sierra Madre Oriental el mes de octubre, lo cual representa un cambio en el patrón de precipitación, mientras, el arranque del periodo de lluvias se ha corrido a fines de junio, estos factores influyen en las practicas culturales agrícolas y pecuarias.

Finalmente, la precipitación disminuyó en la Planicie Costera, Sierra Madre Oriental en forma intensa en el mes de diciembre, lo cual aumenta el riesgo de

heladas negras; al mismo tiempo que, el pico de precipitación documentado por (Rzedowski, 1966), tiende a desaparecer lo cual puede tener un efecto importante en los sistemas forestales, aunque esta precipitación no es muy grande si representa una fuente importante de humedad para las plantas en la seca.

5.3.3 Índices extremos CLIMDEX

Se calcularon los 27 índices básicos utilizados en el proyecto ClimDEX, para 94 series de tiempo de datos diarios de temperatura y precipitación, obtenidos a partir de diferentes Estaciones Meteorológicas situadas en el territorio de San Luis Potosí, estos índices representan los más extremos aspectos del clima y se derivan de datos diarios de temperatura y precipitación, los índices son los recomendados por el CCI/CLIVAR/JCOMM Expert Team on Climate Change Detection and Indices (ETCCDI).

ClimDex cuenta con un paquete computacional fácil de usar para el cálculo de Índices de extremos climáticos que permiten monitorear y detectar el cambio climático y algunos de sus efectos más importantes. Los índices están divididos en cuatro categorías:

1. Índices absolutos, que describen, por ejemplo, el día más caluroso o más frío de un año, o las tasas anuales de precipitación máxima de 1 día o 5 días;
2. Índices de umbral, que cuentan el número de días en que se excede un umbral fijo de temperatura o precipitación, por ejemplo, días de helada o noches tropicales
3. Índices de duración, que describen la duración de periodos húmedos y secos, o periodos cálidos y fríos
4. Índices de umbral basada en percentiles, que describen las tasas de excedencia por encima o por debajo de un umbral que se define como el percentil 10 o 90 derivado del período base.

Los 27 índices se presentan en la siguiente tabla

Tabla 5.7 Índices Climáticos básicos de ETCCDMI

<u>ID</u>	<u>Nombre del Indicador</u>	<u>Definición</u>	<u>UNIDAD</u>
FD0	Frost days (Días de heladas)	Número de días en un año cuando TN(mínimo diario)<0°C	Días
SU25	Summer days (Días de verano)	Número de días en un año cuando TX(máximo diario)>25°C	Días
ID0	Ice days (Días de hielo)	Número de días en un año cuando TX(máximo diario)<0°C	Días
TR20	Tropical nights (Noches tropicales)	Número de días en un año cuando TN(mínimo diario)>20°C	Días
GSL	Growing season Length (Duración de la estación de cultivo)	Anual (1st Ene a 31 st Dic en HN, 1 st Julio a 30 th Junio en HS) cuenta entre el primer periodo de por lo menos 6 días con TG>5°C y primer periodo después de Julio 1 (Enero 1 en HS) de 6 días con TG<5°C	Días
TXx	Max Tmax	Valor mensual máximo de temperatura máxima diaria	°C
TNx	Max Tmin	Valor mensual máximo de temperatura mínima diaria	°C
TXn	Min Tmax	Valor mensual mínimo de temperatura máxima diaria	°C
TNn	Min Tmin	Valor mensual mínimo de temperatura mínima diaria	°C
TN10p	Cool nights (Noches frías)	Porcentaje de días cuando TN<10th percentil	Días
TX10p	Cool days (Días fríos)	Porcentaje de días cuando TX<10th percentil	Días
TN90p	Warm nights (Noches calientes)	Porcentaje de días cuando TN>90th percentil	Días
TX90p	Warm days (Días calientes)	Porcentaje de días cuando TX>90th percentil	Días
WSDI	Warm spell duration indicador (Indicador de la duración de periodos calientes)	Contaje anual de días con por lo menos 6 días consecutivos en que TX>90th percentil	Días
CSDI	Cold spell duration indicador (Indicador de la duración de periodos fríos)	Contaje anual de días con por lo menos 6 días consecutivos en que TN<10th percentil	Días
DTR	Diurnal temperature range (rango diario de temperatura)	Diferencia media mensual entre TX y TN	°C
RX1day	Max 1-day precipitation amount	Máximo mensual de precipitación en 1 día	Mm

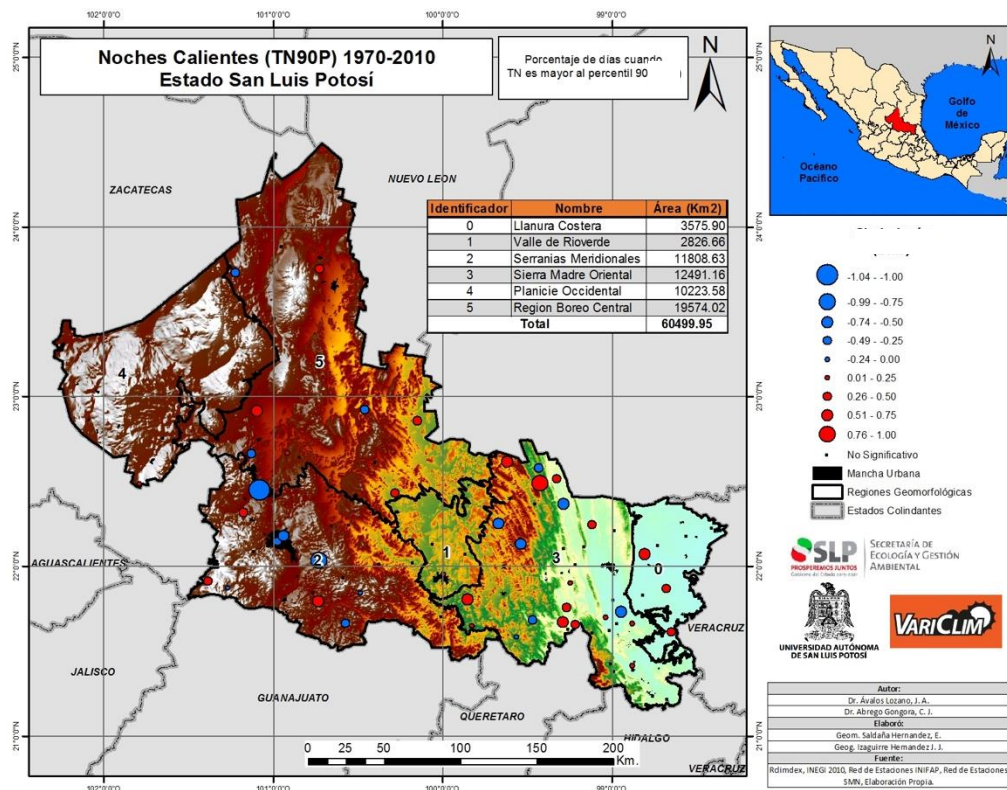
<u>ID</u>	<u>Nombre del Indicador</u>	<u>Definición</u>	<u>UNIDAD</u>
Rx5day	(Cantidad Máxima de precipitación en un día) Max 5-day precipitation amount	Máximo mensual de precipitación en 5 días consecutivos	Mm
SDII	(Cantidad Máxima de precipitación en 5 días) Simple daily intensity index (Índice simple de intensidad diaria)	Precipitación anual total dividida para el número de días húmedos (definidos por PRCP \geq 1.0mm) en un año	Mm/día
R10	Number of heavy precipitation days (Número de días con precipitación intensa)	Número de días en un año en que PRCP \geq 10mm	Días
R20	Number of very heavy precipitation days (Número de días con precipitación muy intensa)	Número de días en un año en que PRCP \geq 20mm	Días
Rnn	Number of days above nmm (Número de días sobre nn mm)	Número de días en un año en que PRCP \geq nn mm, nn es un parámetro definido por el usuario	Días
CDD	Consecutive dry days (Días secos consecutivos)	Número máximo de días consecutivos con RR $<$ 1mm	Días
CWD	Consecutive wet days (Días húmedos consecutivos)	Número máximo de días consecutivos con RR \geq 1mm	Días
R95p	Very wet days (Días muy húmedos)	Precipitación anual total en que RR $>$ 95 percentil	Mm
R99p	Extremely wet days (Días extremadamente secos)	Precipitación anual total en que RR $>$ 99 percentil	Mm
PRCPTOT	Annual total wet-day precipitation (Precipitación total anual en los días húmedos)	Precipitación anual total en los días húmedos (RR \geq 1mm)	Mm

Se calcularon los 27 índices extremos directamente a partir de observaciones basadas en las 94 estaciones, analizadas para el periodo 1970-2010. Estos índices extremos son de importancia ecológica o social, el análisis de los datos extremos nos permite evaluar si la distribución de probabilidades de los datos climáticos se está modificando, adicionalmente nos proporciona información

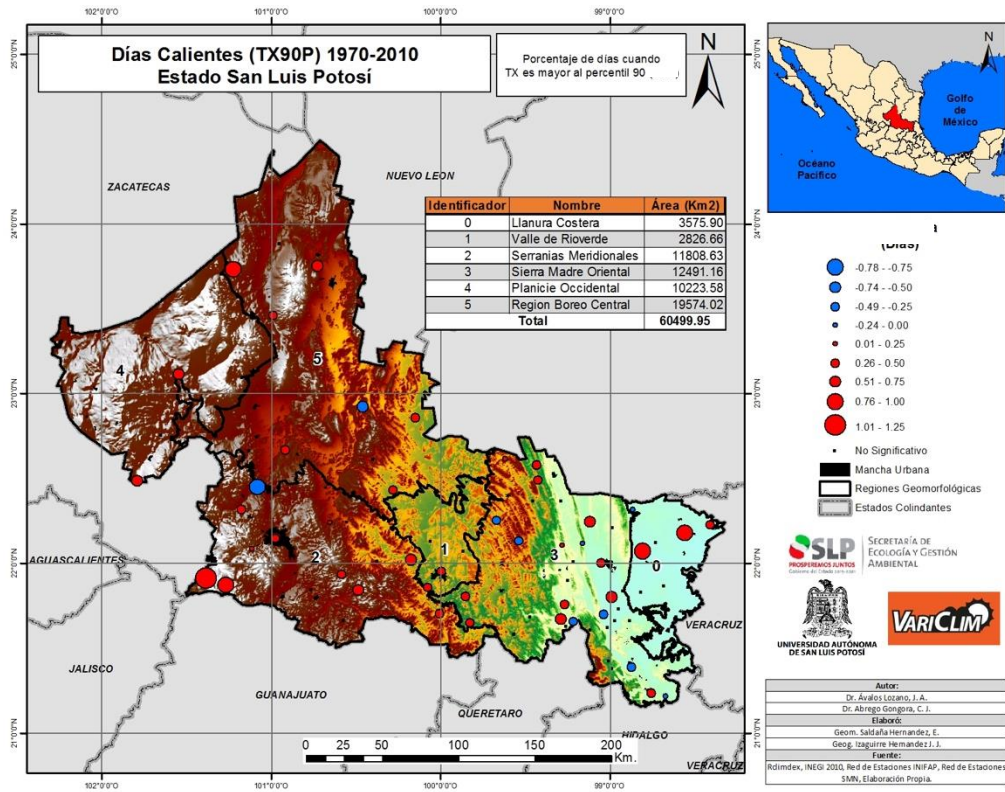
importante sobre los impactos producidos por el cambio climático en los diferentes sectores estratégicos.

Uno de los índices fue modificado por el equipo responsable, debido a que se ha observado, que la exposición prolongada a temperaturas superiores a los 35°C afecta el rendimiento del maíz, el trigo y el arroz. Para evaluar esta relación se modificó el índice SU25 de CLIMDEX (días con Tx superiores a 25°C llamado días de verano) por el SU35 (días con Tx superiores a 35°C, que para la condición de San Luis Potosí tiene mucho más sentido).

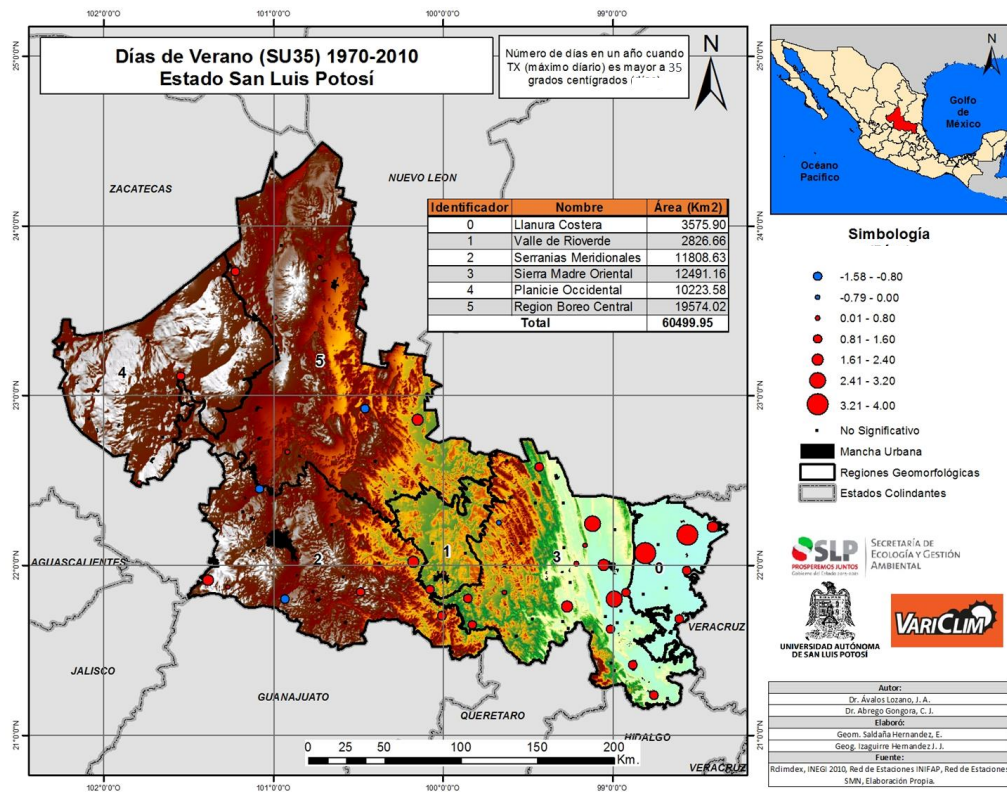
Adelante solo se presentan los índices CLIMDEX más relevantes y solo los que son estadísticamente significativos.



Mapa 5.58 tendencias de cambio en el índice Noches Calientes, en San Luis Potosí, para el periodo 1970-2010



Mapa 5.59 tendencias de cambio en el índice Días Calientes, en San Luis Potosí, para el periodo 1970-2010



Mapa 5.60 tendencias de cambio en el índice SU35, en San Luis Potosí, para el periodo 1970-2010

Con base en el análisis de los índices CLIMDEX nuestras conclusiones apuntan a que en las regiones Planicie Costera, Sierra Madre Oriental y Serranías Meridionales se presenta un cambio climático significativo estadísticamente, que se nota fundamentalmente por un incremento en los días con temperaturas superiores a 35°C; también se aprecia un incremento en los días calientes. En el caso de las noches calientes existe variación, pero es más heterogénea.

5.3.4 Escenarios de cambio climático basados en series de tiempo (ECST)

Se construyeron escenarios tendenciales basados en las variaciones estadísticamente significativas registradas en San Luis Potosí en el periodo 1970-2010, los escenarios se construyeron a corto plazo, dado que para tendenciales el

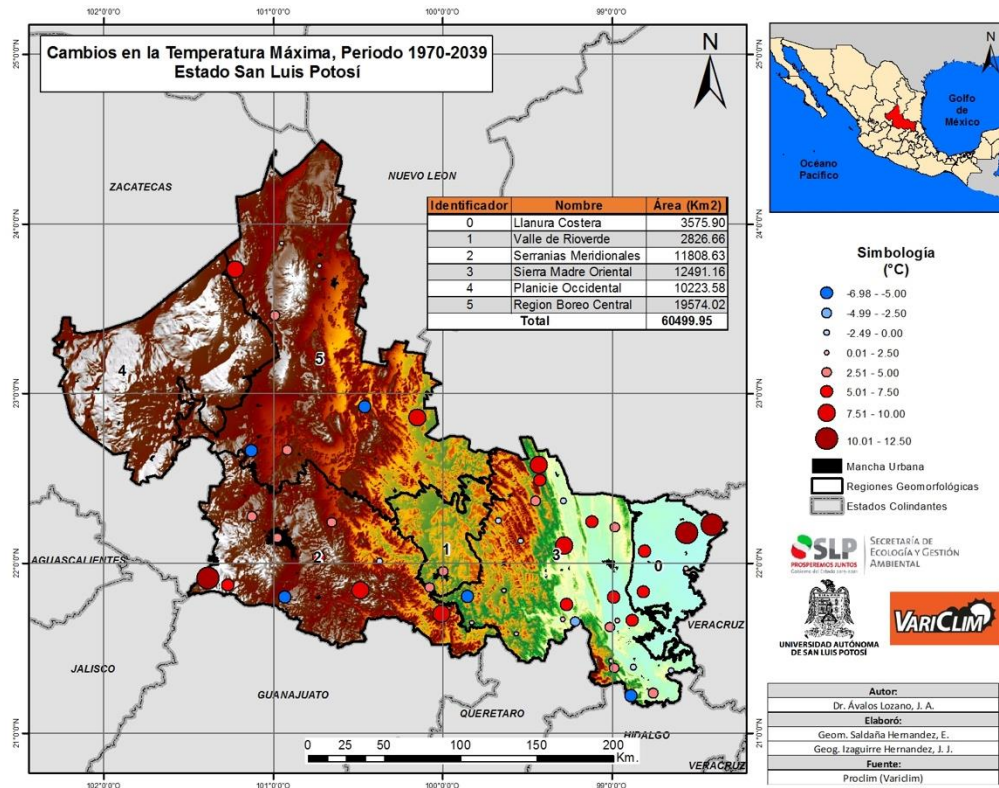
periodo no puede ser superior a la serie de tiempo utilizada. En la siguiente tabla se presentan los resultados obtenidos.

TABLA 5.8 RESULTADOS DE ESCENARIOS TENDENCIALES TEMPERATURA MÁXIMA

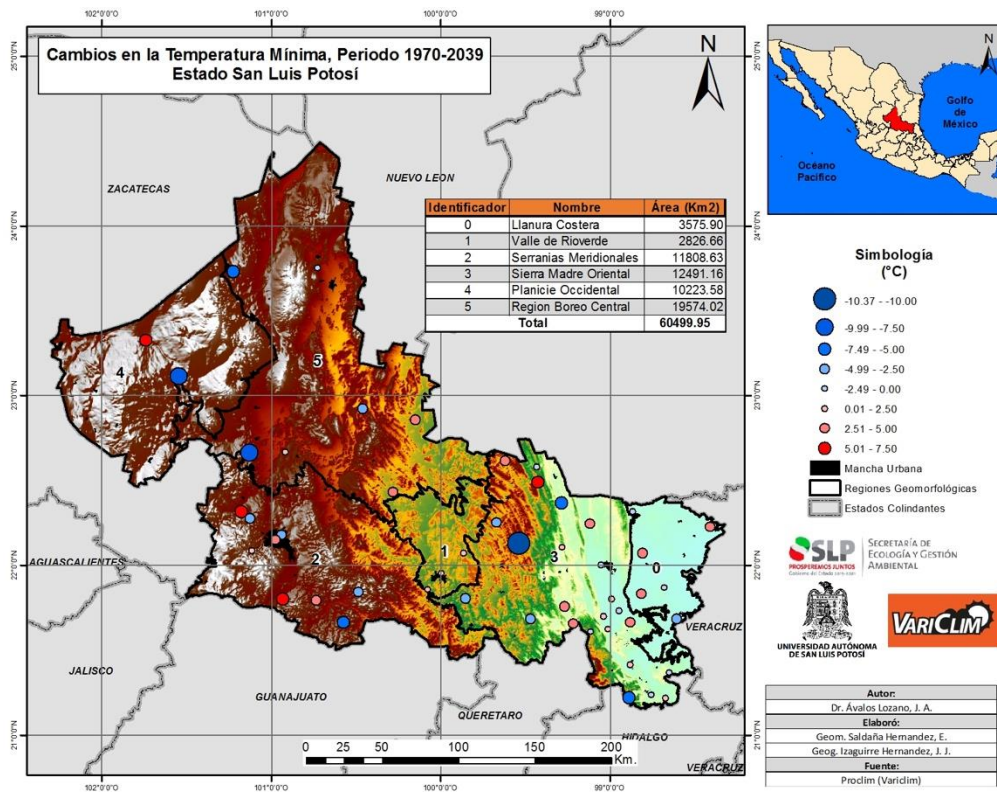
Región	Estación	1970 Valor observado °C	2010 Valor calculado °C	2010 Valor observado °C	2039 Valor calculado °C
Llanura Costera	24015	24.75	26.80	29.29	28.29
Llanura Costera	24036	29.93	30.73	30.49	31.31
Llanura Costera	24095	30.22	36.05	36.40	40.27
Llanura Costera	24108	26.63	31.23	32.79	34.56
Llanura Costera	24133	28.60	30.65	32.39	32.13
Llanura Costera	24139	30.04	34.47	31.90	37.69
Planicie Occidental	24055	23.98	26.86	29.61	28.95
Región Bóreo Central	24007	27.33	29.13	26.89	30.44
Región Bóreo Central	24021	25.28	22.50	21.01	20.49
Región Bóreo Central	24022	28.54	23.91	26.87	20.55
Región Bóreo Central	24033	25.37	26.67	26.70	27.62
Región Bóreo Central	24057	28.65	32.15	32.94	34.70
Región Bóreo Central	24074	25.80	32.56	27.03	37.47
Región Bóreo Central	24094	28.15	29.62	28.24	30.69
Región Bóreo Central	24098	26.66	28.67	28.39	30.13
Serranías Meridionales	24004	25.15	27.30	26.27	28.86
Serranías Meridionales	24042	23.35	25.96	25.02	27.85
Serranías Meridionales	24046	26.88	23.48	21.01	21.02
Serranías Meridionales	24050	26.09	31.20	29.89	34.91
Serranías Meridionales	24051	27.78	25.93	27.21	24.60
Serranías Meridionales	24067	24.68	29.31	28.32	32.66
Serranías Meridionales	24069	23.56	25.12	24.77	26.26
Serranías Meridionales	24071	25.18	26.49	25.83	27.43
Serranías Meridionales	24078	24.34	28.51	27.54	31.53
Serranías Meridionales	24100	23.92	32.98	26.14	39.54
Serranías Meridionales	24101	29.26	26.32	25.80	24.19
Serranías Meridionales	24106	24.25	26.56	27.31	28.24
Serranías Meridionales	24111	25.71	27.11	26.99	28.12
Sierra Madre Oriental	24002	31.34	33.39	31.37	34.88
Sierra Madre Oriental	24003	28.80	30.45	30.81	31.64
Sierra Madre Oriental	24009	28.85	26.78	29.64	25.28

Región	Estación	1970 Valor observado °C	2010 Valor calculado °C	2010 Valor observado °C	2039 Valor calculado °C
Sierra Madre Oriental	24013	26.03	24.65	25.16	23.66
Sierra Madre Oriental	24014	25.25	28.18	30.92	30.31
Sierra Madre Oriental	24016	24.36	27.89	28.10	30.45
Sierra Madre Oriental	24027	28.35	31.64	33.10	34.03
Sierra Madre Oriental	24028	29.73	33.70	32.10	36.57
Sierra Madre Oriental	24035	26.52	28.21	26.86	29.44
Sierra Madre Oriental	24039	30.33	29.89	30.12	29.58
Sierra Madre Oriental	24047	21.38	19.76	22.20	18.59
Sierra Madre Oriental	24049	25.02	26.50	26.87	27.58
Sierra Madre Oriental	24054	29.74	31.80	29.39	33.30
Sierra Madre Oriental	24056	30.17	32.62	31.02	34.39
Sierra Madre Oriental	24060	27.43	28.25	27.48	28.84
Sierra Madre Oriental	24084	28.74	26.97	28.23	25.68
Sierra Madre Oriental	24086	29.93	28.49	32.51	27.45
Sierra Madre Oriental	24087	27.54	29.23	31.24	30.45
Sierra Madre Oriental	24088	30.23	33.53	33.67	35.92
Sierra Madre Oriental	24090	31.12	28.30	30.63	26.26
Sierra Madre Oriental	24091	27.68	29.02	29.50	29.99
Sierra Madre Oriental	24092	28.58	24.43	26.33	21.43
Sierra Madre Oriental	24097	28.37	25.20	25.06	22.90
Sierra Madre Oriental	24105	26.51	28.11	28.20	29.27
Sierra Madre Oriental	24125	26.40	28.33	26.87	29.73
Sierra Madre Oriental	24132	31.11	26.40	27.26	22.98
Sierra Madre Oriental	24137	28.09	31.72	31.66	34.35
Valle de Rioverde	24110	26.98	29.47	27.73	31.28
Valle de Rioverde	24114	28.42	30.31	29.14	31.69

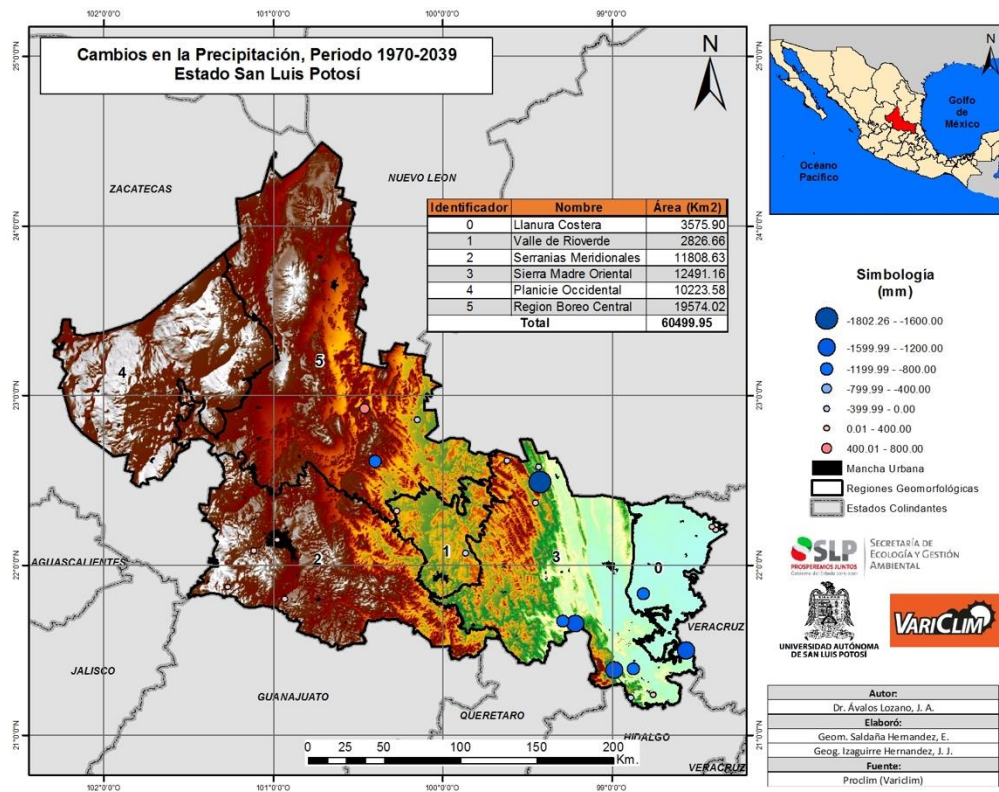
En los siguientes mapas se presentan los resultados obtenidos, se aclara que estos resultados no son muy confiables, toda vez, que el periodo de modelación es casi del tamaño de la serie de tiempo base, con una relación de 0,725 cuando se establece que la relación máxima para obtener resultados confiables es de 0,25 (Lobell, Crop Responses to Climate: Time-Series Models, 2010). Sin embargo, se presentan como una referencia que posteriormente podrá ser calibrada.



Mapa 5.61 Escenarios de cambio climático basados en series de tiempo, para la temperatura máxima, en San Luis Potosí, para el periodo 1970-2010



Mapa 5.62 Escenarios de cambio climático basados en series de tiempo, para la temperatura mínima, en San Luis Potosí, para el periodo 1970-2010



Mapa 5.62 Escenarios de cambio climático basados en series de tiempo, para la precipitación, en San Luis Potosí, para el periodo 1970-2010

6. EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD EN LOS SECTORES ESTRATÉGICOS DEL ESTADO DE SAN LUIS POTOSÍ

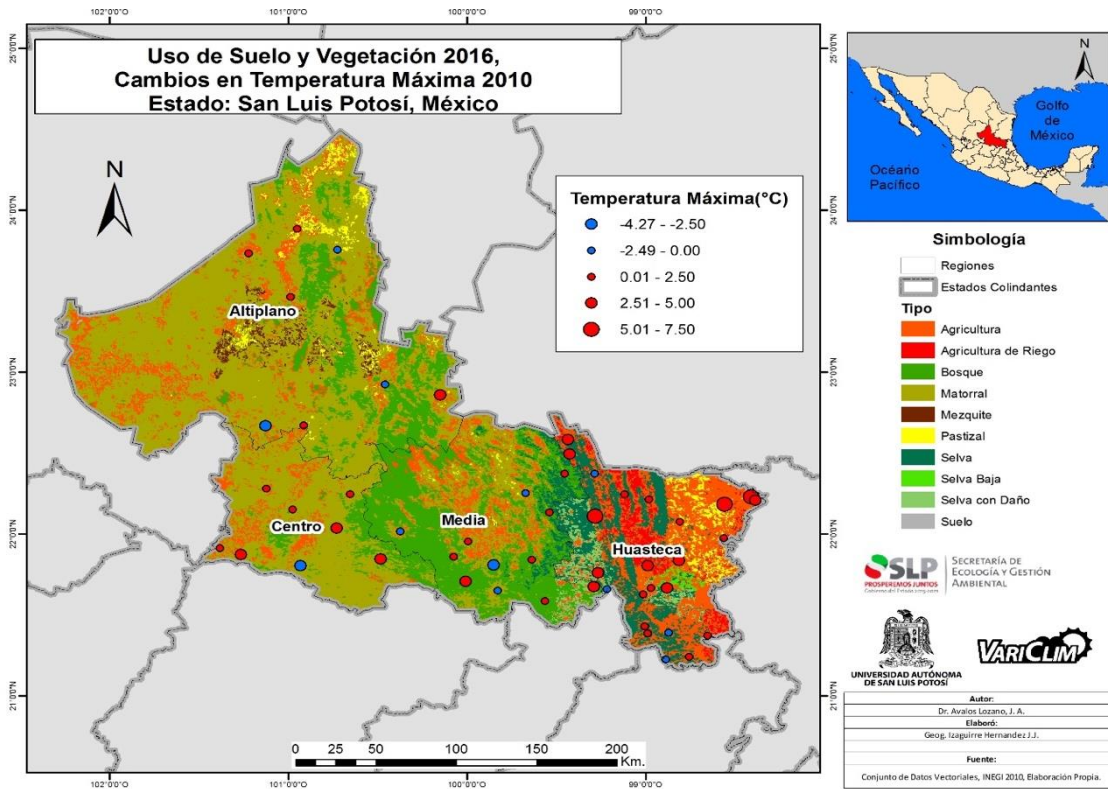
El cambio de uso de la tierra tiene una magnitud preocupante en San Luis Potosí y se considera una de las variables conductoras de una especie de cambio climático local, más importante que el cambio climático global impulsado por la [CEI]⁹.

El presente trabajo aporta información que permite vincular ciertos procesos de cambio en la cobertura vegetal con cambios en las tendencias del clima a nivel local. Para analizar estos procesos se determinó, en primer término, la dinámica del cambio de uso de la tierra y la variación de la cobertura vegetal en el Estado. Primero se hizo un estudio de los cambios en los usos de la tierra y en la vegetación a tres escalas. La línea base se estableció con base en el trabajo “Determinación Regional de los Coeficientes de Agostadero: San Luis Potosí” (Comisión Técnico Consultiva para la Determinación Regional de Coeficientes de Agostadero, 1974).

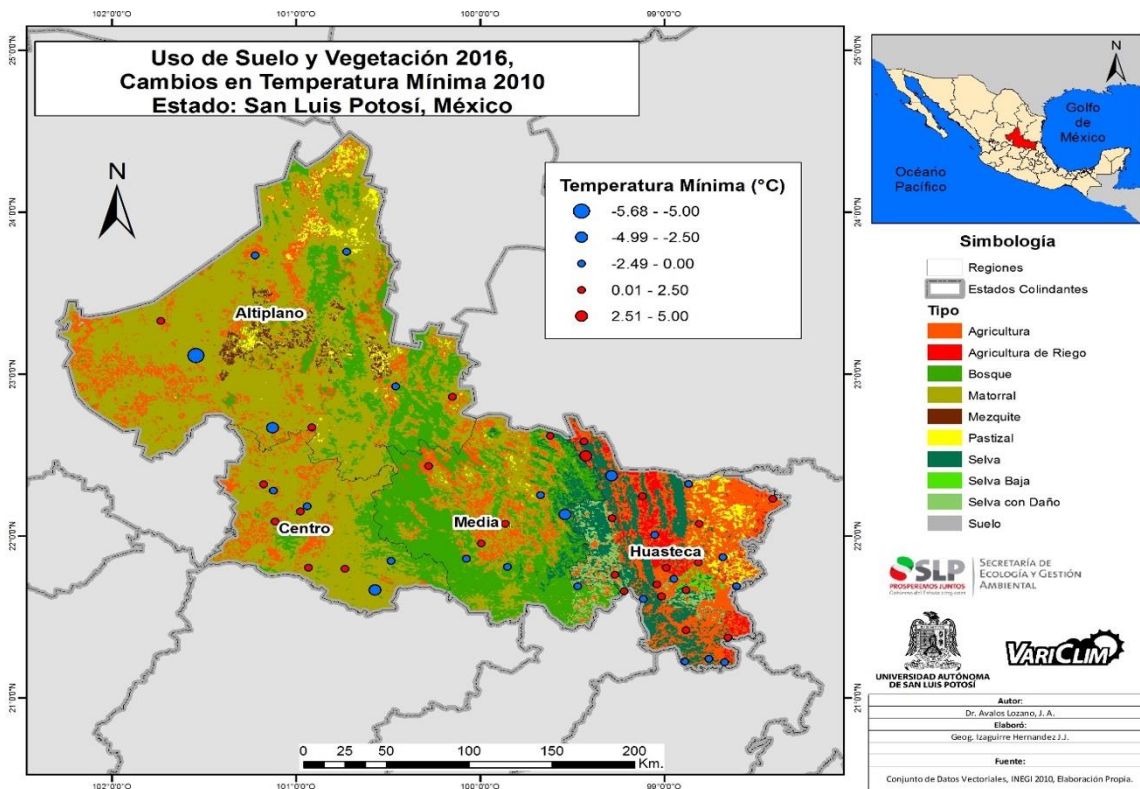
Para la primera se utilizó la información disponible por el INEGI sobre los cambios en la vegetación de 1976 al 2010. Para esto se utilizaron la serie I, 1997; la serie II, 2001; la serie III, 2005; la serie IV, 2009; y la serie V, 2013. Con esta información se trabajó todo el territorio estatal, dividido en seis regiones geomorfológicas, para el periodo 1974-2013.

Utilizando imágenes de satélite de resolución media MODIS 250, se realizó el segundo ejercicio de análisis de cambio de uso de suelo, se elaboraron capas de uso de suelo y vegetación para las fechas de 1974, 2001, 2006, 2010 y 2016. a una escala de 250 X 250 m. Con estas capas se analizaron los cambios para las distintas regiones. Utilizando como centro las 94 estaciones consideradas para el periodo 1970-2010, se trazó un radio de 8,78 km a partir del cual se construyó un círculo concéntrico a las Estaciones Meteorológicas de 242,18 km². Posteriormente se determinó la tendencia de cambio en la cobertura vegetal y esta se correlacionó con las tendencias de cambio significativas para diferentes índices climáticos. Los resultados se muestran exclusivamente para el cambio de uso de suelo 1974-2016 en los siguientes mapas.

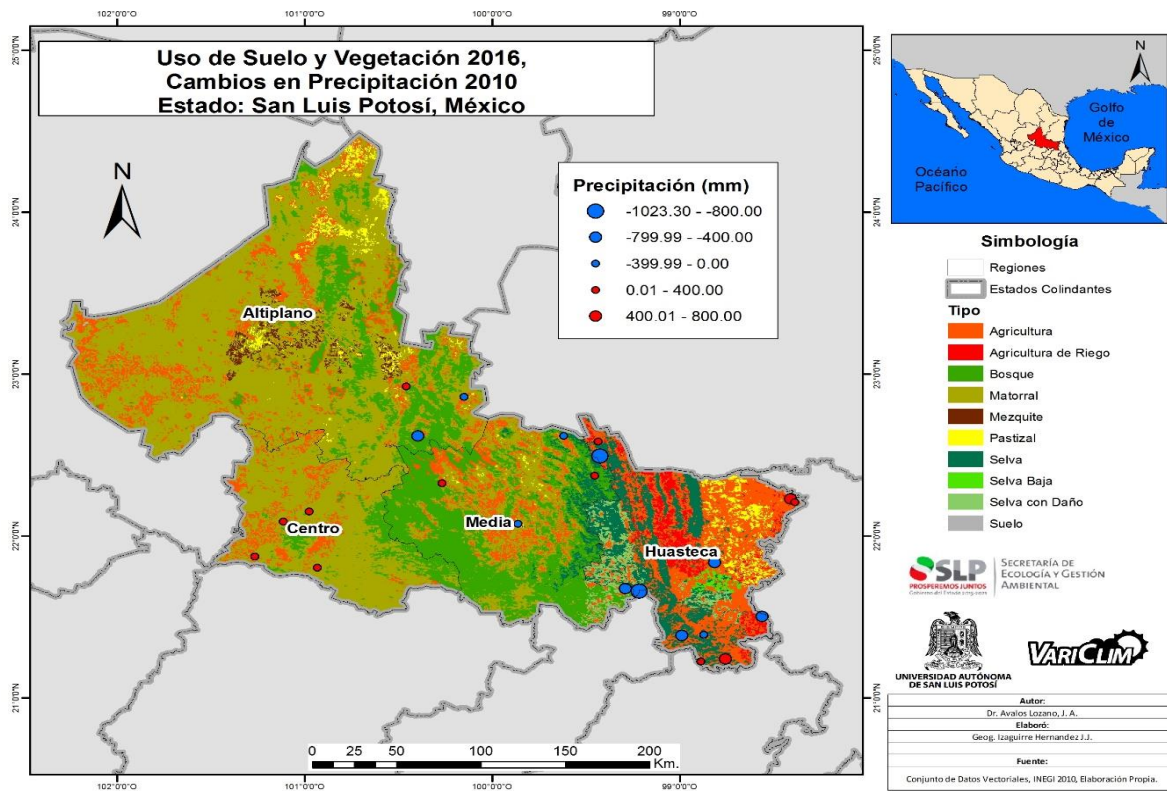
⁹ Los corchetes indican concentración.



Mapa 6.1 relación entre el cambio de uso de la tierra y el cambio estadísticamente significativo en la temperatura máxima, periodo 1974-2010.



Mapa 6.2 relación entre el cambio de uso de la tierra y el cambio estadísticamente significativo en la temperatura mínima, periodo 1974-2010.



Mapa 6.3 relación entre el cambio de uso de la tierra y el cambio estadísticamente significativo en la precipitación, periodo 1974-2010.

Resulta evidente que existe una variación concomitante entre el cambio de uso de la Tierra que actualmente se destina a actividades agrícolas o pecuarias y las variaciones de temperatura máxima, mínima y precipitación.

En la siguiente tabla se presenta el porcentaje de cambio en el uso de la tierra para el periodo 1974-2016.

Tabla 6.1 Cambio de uso de la tierra en el estado de San Luis Potosí 1974-2016

Cambio de Uso de Suelo Estado de San Luis Potosí (1974 - 2016)	2016	Agricultura %	Agricultura de Riego %	Bosque %	Matorral %	Pastizal %	Suelo descubierto %	Mezquite %	Total general %

1974								
Bosque	8,87	1,82	----	1,11	1,17	0,10	0,00	13,08
Matorral	6,17	---	13,77	---	0,99	0,11	0,61	21,64
Pastizal	2,83	---	1,09	15,00	---	0,08	0,42	19,42
Vegetación acuática y subacuática	1,20	---	1,94	2,42	0,04	---	----	5,62
Total, general	19,07	1,82	16,80	18,53	2,21	0,29	1,03	59,75

6.1 PAISAJES Y ECOSISTEMAS

En la siguiente tabla se muestran las relaciones entre los elementos del clima y diversos procesos fundamentales en los ecosistemas. Como puede observarse estas relaciones permitirán la evaluación del riesgo en ecosistemas y agroecosistemas y la construcción de estrategias estatales para enfrentar el cambio climático.

Efectos ambientales sobre los ecosistemas

Factor	Proceso	Modelación	Comentarios
Temperatura	Fenología	Completo	El aumento de la temperatura disminuye el tiempo para la floración y maduración, pero temperaturas muy altas retrasan el desarrollo. En los insectos el aumento de la temperatura acelera fechas de emergencia e inicio de los periodos de vuelo. La temperatura incrementa: número de generaciones, tamaño de la población, rango de distribución, abundancia local y regional, tasa de herbivoría. Altera la relación de plagas con sus enemigos naturales, por cambio de la sincronía fenológica entre hospedero-plaga o predador-presa. El aumento de la temperatura mínima disminuye la tasa de mortalidad en invierno, factor importantísimo en descortezadores.
	Fotosíntesis	Completo	El estrés por calor es pobremente comprendido, pero tiene un efecto hormonal complejo y que depende del periodo de desarrollo, en zonas frías en otoño invierno aumenta la producción primaria neta en primavera verano la disminuye. Para gramíneas (pastos, maíz) mexicanas, temperaturas arriba de 35°C pueden ser perniciosas para el desarrollo y crecimiento del cultivo, pero la respuesta depende de la especie.
	Respiración	Completo	Las tasas se incrementan con la temperatura, afecta la producción primaria neta.
	Desarrollo foliar	Parcial	Los modelos difieren mucho sobre como la temperatura afecta la expansión de las hojas y su engrosamiento. El efecto puede depender de la especie.
	Crecimiento reproductivo	Parcial	El estrés por calor es pobremente comprendido en las gramíneas disminuye la producción de semillas y es posible que la variación en la vernalización afecte a bosques de pino y oyamel, bosques de pino-encino, y bosque de encino.

Efectos ambientales sobre los ecosistemas

Factor	Proceso	Modelación	Comentarios
	Elongación de las raíces	Completo	Las tasas se incrementan con la temperatura del suelo, pero las temperaturas del suelo no son modeladas, incluyendo las condiciones de cambio climático.
	Evapotranspiración potencial.	Completo	La pérdida potencial de agua se incrementa con la temperatura, como es exactamente predicho por la ecuación Penman-Monteith. Los árboles entran en estrés hídrico.
	Mineralización de la materia orgánica del suelo	Completo	Las tasas se incrementan con la temperatura del suelo, variando el pH y favoreciendo los procesos de sucesión, al mineralizar más rápido la materia orgánica se pierde capacidad de retención de agua.

Efectos ambientales sobre los ecosistemas			
Factor	Proceso	Modelación	Comentarios
Concentración de CO ₂	Desarrollo	No	Los efectos varían con las especies y aún no son lo suficientemente comprendidos como para ser modelados.
	Desarrollo foliar	No	Aún no es lo suficientemente comprendido como para ser modelado.
	Fotosíntesis	Completo	La respuesta básica al CO ₂ es bien descrita por el modelo Farquhar, pero las controversias continúan.
	Respiración	No	No se acepta completamente su existencia.
	Transpiración	Completo	Mecanismos fisiológicos son pobremente comprendidos. Es posible que existan diferencias entre especies, pero no se consideran en los actuales modelos.
Radiación solar	Fotosíntesis	Completo	Las respuestas de las hojas y el dosel arbóreo al incremento en la radiación es la disminución en el crecimiento y aumento en la producción de raíces, frutos y granos, el efecto aumenta cuando los días claros se combinan con noches frías, en el maíz produce aumento en la producción de grano. Disminución de la producción en plantas que requieren sombra (sotobosque y estrato herbáceo).
	Desarrollo foliar	Parcial	Aún no es lo suficientemente comprendido como para ser modelado.
	Evapotranspiración potencial.	Completo	La pérdida potencial de agua se incrementa con la radiación solar, como es exactamente predicho por la ecuación Penman-Monteith

Efectos ambientales sobre los ecosistemas			
Factor	Proceso	Modelación	Comentarios
Viento	Evapotranspiración potencial.	Parcial	La pérdida potencial de agua se incrementa con el viento, como es exactamente predicho por la ecuación Penman-Monteith, el aumento en la evapotranspiración produce aumento en el estrés hídrico si no aumenta el agua disponible.
	Desarrollo foliar	No	Aún no es lo suficientemente comprendido como para ser modelado.
Humedad relativa	Evapotranspiración potencial.	Parcial	La pérdida potencial de agua disminuye con la humedad relativa, como es exactamente predicho por la ecuación Penman-Monteith, el aumento en la humedad relativa se relaciona con el aumento en la temperatura mínima, si este elemento aumenta favorece las plagas de descortezadores. La evapotranspiración potencial no es el máximo de agua que la vegetación o el cultivo pueden consumir, es la cantidad de agua necesaria para una producción primaria neta óptima, un exceso de agua favorece la producción de auxinas y disminuye el rendimiento,
	Transpiración	Parcial	Las respuestas directas de las plantas a la humedad, incluyendo las diferencias entre especies, son pobremente comprendidas.

Variables clave y su velocidad de manifestación en las unidades del paisaje consideradas. Resulta básico establecer programas de monitorización que consideren las diferencias de aparición en las variables.

Sistemas	Las variables		
	Rápidas	Intermedias	Lentas
Plagas y enfermedades en formaciones vegetales	Infestaciones de organismos por insectos, bacterias virus	Perdida de follaje y producción primaria	Perdida de formaciones vegetales. Variaciones en la composición de los ensambles (aparición y aumento en la dominancia de especies pirófitas) Variaciones en la demografía de las poblaciones (natalidad morbilidad), mortalidad, capacidad reproductiva.
Fuegos	Variaciones en la ocurrencia y magnitud	Variación en la cantidad y densidad de materiales combustibles	Perdida de formaciones vegetales. Variaciones en la demografía de las poblaciones (natalidad morbilidad), mortalidad, capacidad reproductiva.
Procesos de sucesión	Sucesión en pastos y herbáceas.	Sucesión en matorrales	Sucesión en árboles, herbívoros, y carnívoros (ambientes húmedos y templados). Sucesión en matorrales, herbívoros, y carnívoros (ambientes áridos y calientes).
Enfermedades animales	Aparición de organismos enfermos	Variación en la distribución, población y ciclos reproductivos de vectores, aumento en la susceptibilidad.	Variaciones en la demografía de las poblaciones (natalidad morbilidad), mortalidad, capacidad reproductiva.

No se cuenta con información sistemática sobre los efectos de los cambios climáticos en los ecosistemas potosinos, aunque se presume que algunos fenómenos locales como la plaga de descortezadores en el municipio de Xilitla se deben a incrementos en la temperatura máxima y mínima, en los insectos, el aumento de la temperatura acelera fechas de emergencia e inicio de los periodos de vuelo, si las temperaturas mínimas y máximas se incrementan, aumenta el número

de generaciones, el tamaño de la población, el rango de distribución, la abundancia local y regional, y la tasa de herbívora. Además de que se altera la relación de plagas con sus enemigos naturales, por cambio de la sincronía fenológica entre hospedero-plaga o predador-presa. El aumento de la temperatura mínima, observado en Xilitla y empujado por un incremento en la precipitación y en la humedad relativa, disminuye la tasa de mortalidad en invierno, factor importantísimo para la sobrevivencia de los descortezadores. El incremento de material combustible producto de la muerte de los árboles aumenta la tasa de incendios e incrementa los procesos de sucesión.

6.2 AGRICULTURA Y GANADERÍA

Para identificar los efectos del clima sobre los cultivos básicos en San Luis Potosí se analizó la variación concomitante entre el Índice Normalizado de Vegetación NDVI, utilizando la plataforma MODIS 250 y el Índice estandarizado de precipitación SPI 6 para el periodo 2003-2015, con la finalidad de encontrar una relación entre los eventos meteorológicos y climáticos extremos y la producción de biomasa.

En las siguientes figuras se muestran los resultados.

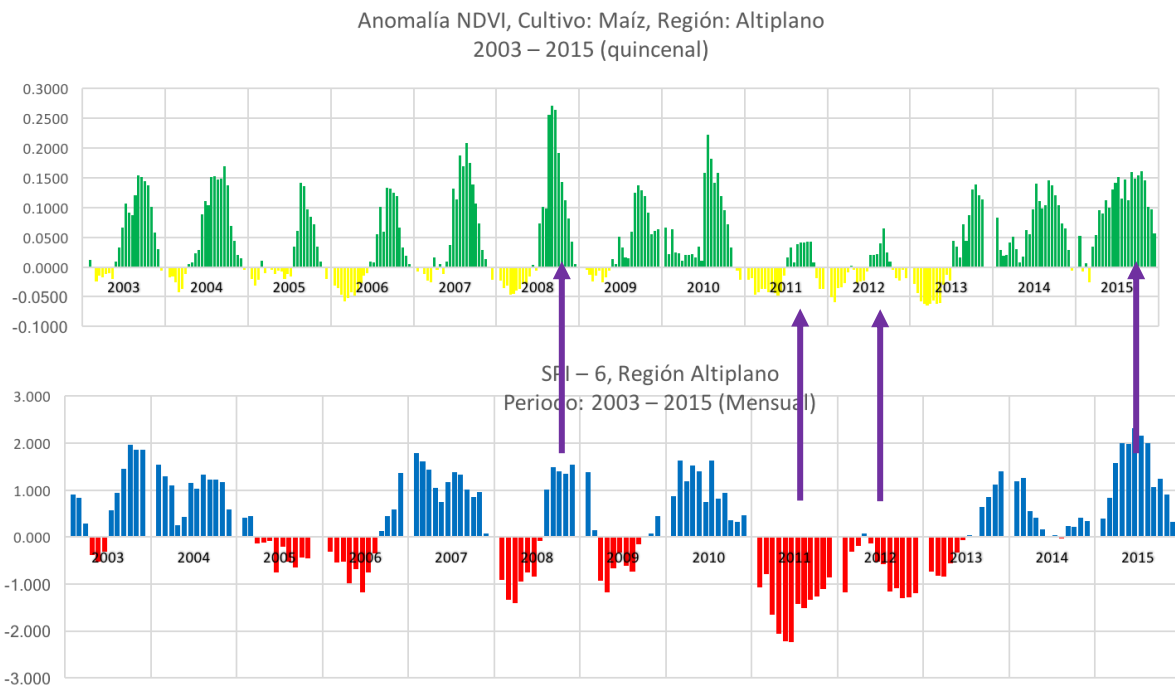
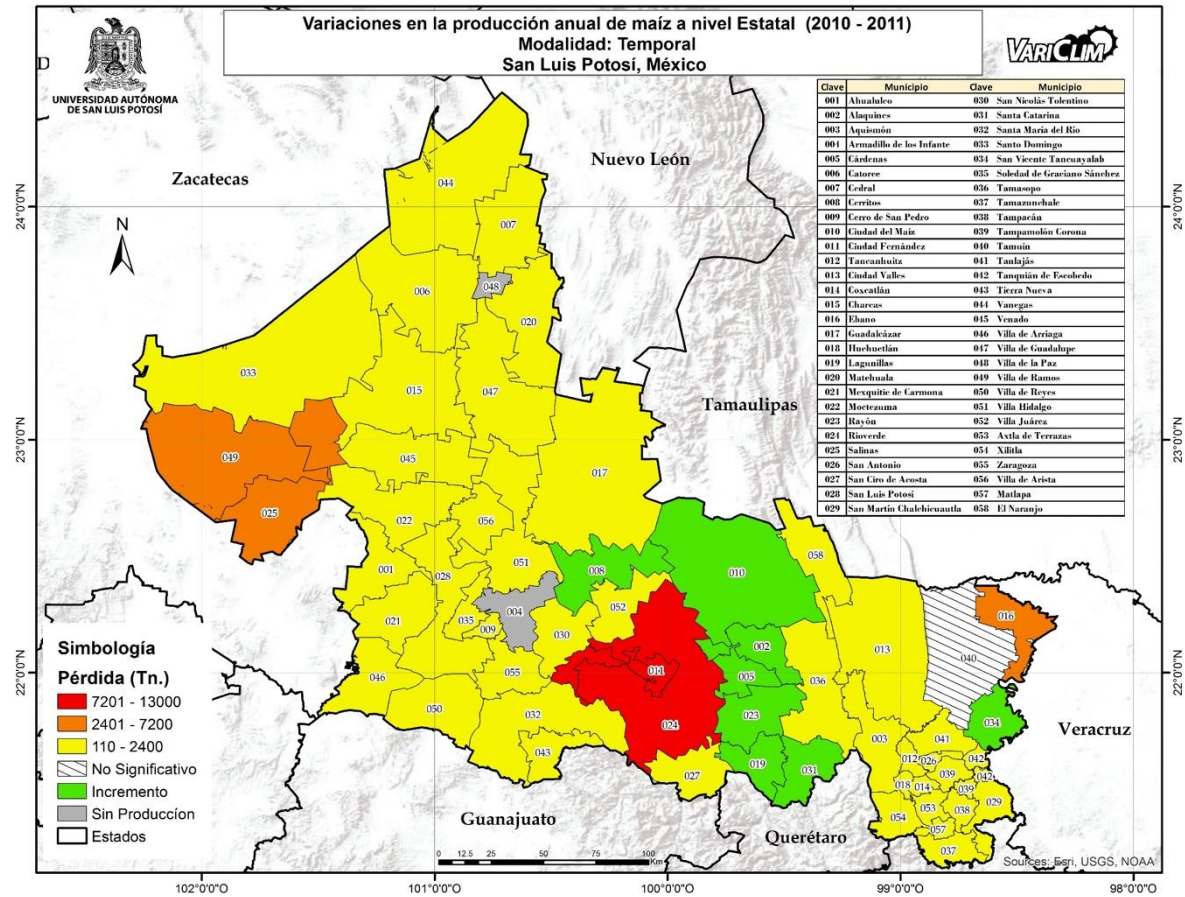


Figura 6.1 Relación entre el NDVI para la producción de maíz en la Región Altiplano y el Índice Estandarizado de Precipitación SPI6.

Como resulta evidente, a partir del análisis de la figura, la producción de maíz en el estado, depende de eventos meteorológicos extremos, principalmente sequías; sin embargo, los efectos son heterogéneos y dependientes de las condiciones

locales, como se observa en el mapa 6.3bis, donde se presentan los efectos de la gran sequía del 2010-11 sobre la producción de maíz.

Mapa 6.3bis Variaciones en la producción anual de maíz, modalidad temporal, sequía 2010-11.



En San Luis Potosí los principales problemas fitosanitarios que afectan la calidad y rendimiento de productores citrícolas, de cafeticultores, y de ganaderos y productores de caña de azúcar son por su importancia económica: la mosca mexicana de la fruta, *Anastrepha ludens* (Loew), la broca del café *Hypothenemus hampei* (Ferrari) y la langosta *Schistocerca piceifrons* (Walker 1870). En la actualidad se carece de información sobre los cambios que estas especies, y otras de importancia económica menor, tendrán con el nuevo régimen climático en el estado. Sin duda, la distribución y la dinámica natural de las poblaciones de insectos se han visto y se verán modificadas por los cambios en los diferentes elementos ambientales, principalmente por la temperatura, pero, pese a su importancia, las investigaciones realizadas en estas materias son mínimas. En el presente trabajo se han construido escenarios de la dinámica fitosanitaria con base en los escenarios de cambio climático.

Las observaciones realizadas en el Estado en los últimos 30 años señalan que se han presentado incrementos en la temperatura máxima y mínima y variaciones importantes en la humedad, la evapotranspiración potencial, con un incremento en la aridez en la Planicie Costera y la Sierra Madre Oriental. Estos efectos potencialmente pueden provocar: adelanto de la emergencia de yemas, floración, fructificación, y anidado de especies; cambio en las tasas de desarrollo, fisiología, morfología y migración de especies; cambios en la distribución altitudinal y latitudinal de las especies agrícolas y sus plagas; con consecuencias sobre ecosistemas y comunidades completas.

El impacto del cambio climático sobre la agricultura podría provocar:

En zonas áridas, la disminución de los periodos de producción agrícola, definidos como el número de días seguidos en un año, con temperatura y condiciones de humedad favorables para la producción agrícola.

Con relación a los aspectos fitosanitarios, debe recordarse que, en los insectos y fitopatógenos, como en la mayoría de los animales poiquilotermos, el desarrollo y actividad están estrechamente regulados por factores climáticos, particularmente la temperatura, y por el corto tiempo de generación que permite cambios determinados sobre escalas de tiempo relativamente cortas.

La sensibilidad de los insectos al cambio climático incluye: efectos en fechas de emergencia de nuevas generaciones de adultos, en la duración e inicio de los periodos de vuelo, número de generaciones, tamaño de la población, rango de distribución de especies, abundancia local y regional (Dell et al., 2005); tasa de herbivoría, frecuencia de brotes de insectos que son plagas clave, alteraciones en la relación de plagas con sus enemigos naturales, disminución de la biodiversidad; alteración de la sincronía fenológica entre hospedero-plaga o predador-presa. Todos estos cambios impactarán ecológica y económicamente a San Luis Potosí.

Los efectos específicos que se darán en la actividad de los insectos en un ambiente con elevada concentración de CO₂, que favorece el calentamiento global, dependerán de sus formas de alimentación. La elevada concentración de CO₂ reduce la actividad de minadores y comedores de xilema. En cambio, la respuesta de los que consumen células completas (trips y ácaros) o los que consumen floema, es inconsistente, porque varía con la especie, planta hospedera y el nivel de organización que se trate (individual o poblacional). Sin embargo, esto tiene implicación en el manejo de plagas, porque una práctica común en muchos lugares es incrementar bajo condiciones de invernadero, la concentración de CO₂ hasta 600 o 1200 $\mu\text{mol mol}^{-1}$ con el fin de estimular el crecimiento y rendimiento de hortalizas y ornamentales.

La elevación de la temperatura mínima y máxima podría afectar indirectamente a los insectos por los cambios que ocurren en plantas, en la cantidad y calidad de la vegetación. Pero directamente modificarán la tasa de mortalidad en invierno, provocando en los sitios donde disminuyen las noches frías y aumentan los días y las noches calientes, la emergencia temprana invernante, incremento del número de generaciones anuales, cambio en el estatus de las plagas determinado por el cambio de uso del suelo y estrategias de manejo, especies que no eran plagas lo serán en un futuro cercano; se producirán varios cambios en la distribución geográfica de muchas especies.

Posiblemente especies de distribución tropical y subtropical avanzarán a latitudes antes imposibles, y lo seguirán haciendo hasta donde su resistencia al frío se los permita (no invernán).

Otros posibles efectos directos, por lo menos en zonas templadas y áreas boreales, serán el incremento de la tasa de desarrollo de los insectos y de su potencial reproductivo; la distribución de los insectos, es en la mayoría de los casos, más reducida geográficamente que la de sus hospederos, pero esto puede cambiar en respuesta al cambio de las condiciones climáticas; se incrementarán los brotes en regiones del norte o alpinas y disminuirán en el sur.

Un problema interesante es el de los invernaderos, cuyo incremento podría favorecer la introducción a zonas anteriormente templadas y hoy más cálidas, de plagas de origen tropical, dado que son islas ecológicas vulnerables a la invasión por insectos, debido a la ausencia de enemigos naturales. La combinación de días largos y temperaturas altas creadas en invernaderos durante el invierno, son condiciones que pueden favorecer la invasión. De hecho, la mayoría de las plagas de invernadero son de origen tropical o subtropical, no tienen diapausa, por lo que continúan reproduciéndose durante el ciclo de producción si hay condiciones de alimento apropiadas.

Otro problema que se podría ser importante, en las zonas donde se incrementan los días y noches calientes, son las enfermedades de plantas transmitidas por insectos. Muchos factores podrían afectar las epidemias virales o las causadas por otros fitopatógenos. Algunos de los considerados como más importantes son la sincronización fenológica entre la población del vector y la susceptibilidad de la planta hospedera (el clima se asume como favorable para el desarrollo de ambos); los tipos de transmisión; la dinámica poblacional del vector; el rango de ocurrencia de las especies; la alteración de la fisiología de plantas que afecta la expresión de su resistencia a fitopatógenos; el impacto sobre microorganismos benéficos antagonistas de los fitopatógenos; además se influenciará en la esporulación y colonización exitosa de algunos patógenos; y la expresión de los síndromes de diversas enfermedades.

Se ha documentado un aumento en la temperatura mínima en la Planicie Costera y en Sierra Madre Oriental, en los meses de febrero y junio lo cual puede tener efectos sobre los ecosistemas y cultivos de temporal, dado que el incremento en las noches calientes provoca una disminución en la producción de granos básicos, particularmente en primavera-verano.

La temperatura mínima disminuyó en la Planicie Costera, Sierra Madre Oriental y Serranías Meridionales en diciembre, lo cual representa una amenaza para los ecosistemas y cultivos de otoño-invierno, debido al aumento el riesgo de heladas negras.

La precipitación disminuyó en la Planicie Costera y en Sierra Madre Oriental, en mayo y junio afectando los ecosistemas y cultivos de temporal, dado que estos meses son los más calientes del año, en la peor de las combinaciones en las dos regiones aumenta la demanda de agua y disminuye la disponibilidad.

En contraste, la precipitación aumentó en la Planicie Costera y Sierra Madre Oriental en octubre, lo cual representa un cambio en el patrón de precipitación,

mientras, el arranque del periodo de lluvias se ha corrido a fines de junio, estos factores influyen en las practicas culturales agrícolas y pecuarias.

Finalmente, la precipitación disminuyó en forma intensa en la Planicie Costera y la Sierra Madre Oriental en el mes de diciembre, lo cual aumenta el riesgo de heladas negras; por otro lado, este pico de precipitación documentado por (Rzedowski, 1966), tiende a desaparecer lo cual puede tener un efecto importante en los sistemas forestales, aunque esta precipitación no es muy grande si representa una fuente importante de humedad para las plantas en la seca.

A pesar de lo anterior, en términos generales, y contra los pronósticos, el análisis de las tendencias de producción de maíz en México y en San Luis Potosí, no parece responder al cambio climático, como puede apreciarse en las siguientes figuras, aunque la producción es extremadamente vulnerable a los eventos meteorológicos extremos, que no se están incrementando ni en México ni en San Luis Potosí.

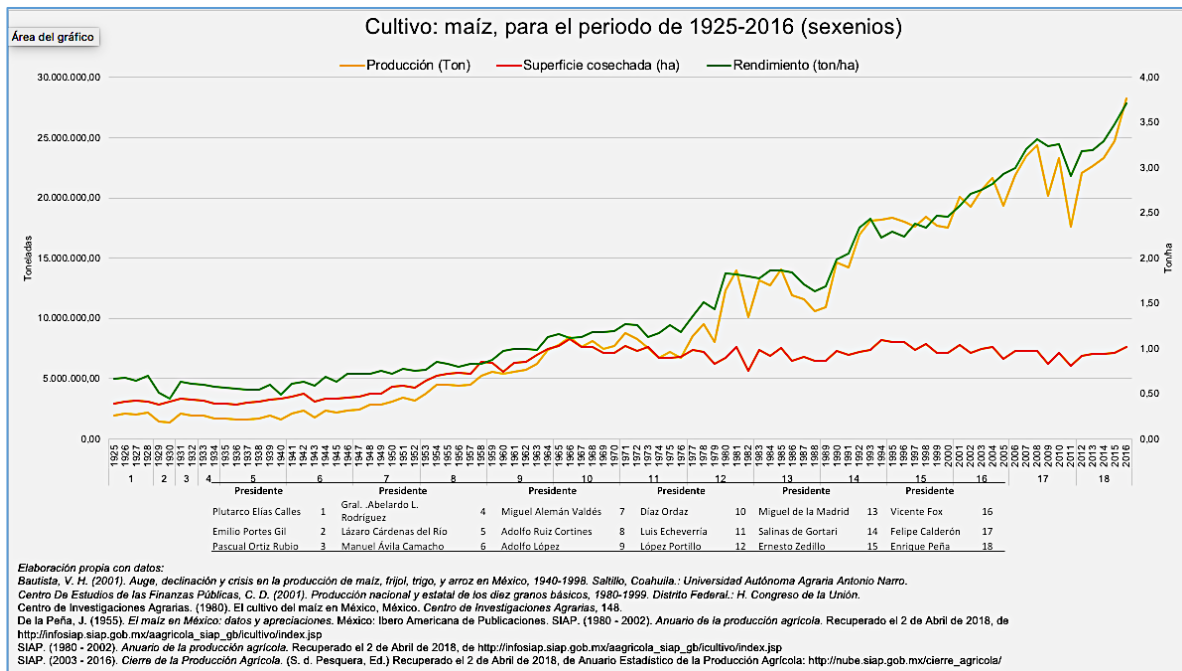


Figura 6.1.bis Producción, rendimiento y superficie cosechada de maíz en México 1955-2016 de J.A Ávalos y colaboradores (2018)

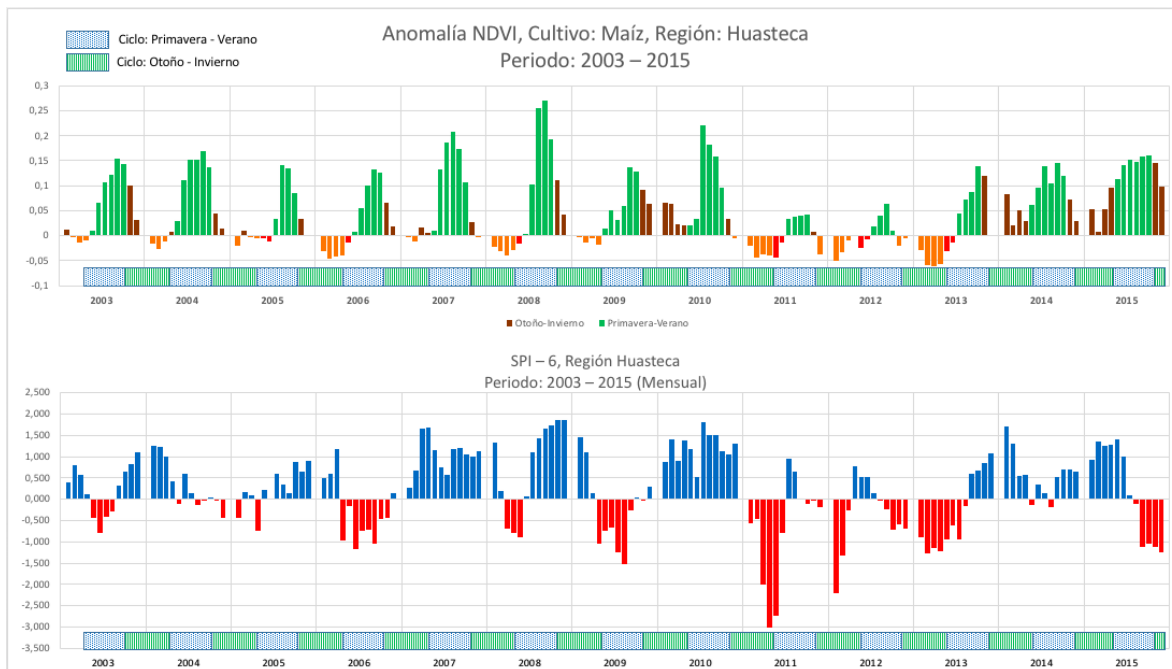


Figura 6.1.2bis Anomalia del Índice Normalizado de Vegetación contra el Índice estandarizado de Precipitación 6 de maíz en la Huasteca Potosina 2003-15 de J.A Ávalos y colaboradores (2018)

6.3 AGUA Y GESTIÓN DE CUENCAS

Se realizó el balance hidrológico del Estado de San Luis Potosí aplicando la ecuación del hídrico utilizada por Fernández (1996) y Van Dam (1999):

$$P = Q + ETR + \Delta S$$

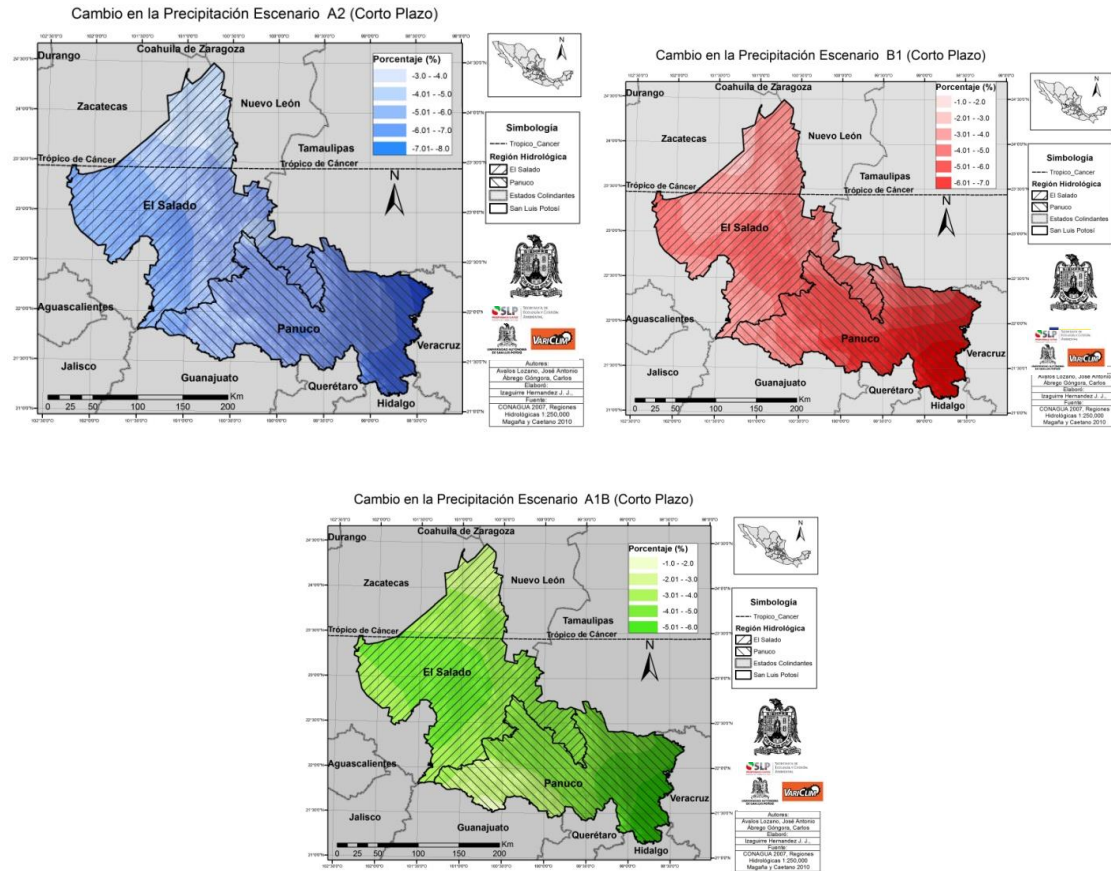
En la cual, P es la precipitación, Q es la escorrentía superficial, ETR es la evapotranspiración real y ΔS es la diferencia entre la recarga y la extracción en los mantos de agua subterránea. Es decir, en la ecuación se consideran los flujos de materia en los pozos de transferencia y de depósito más importantes del ciclo hidrológico (atmósfera, superficie y subsuelo).

El balance hidrológico para las condiciones actuales se realizó a nivel de región hidrológica; nuestro Estado está comprendido en las Regiones Hidrológicas El Salado y Pánuco.

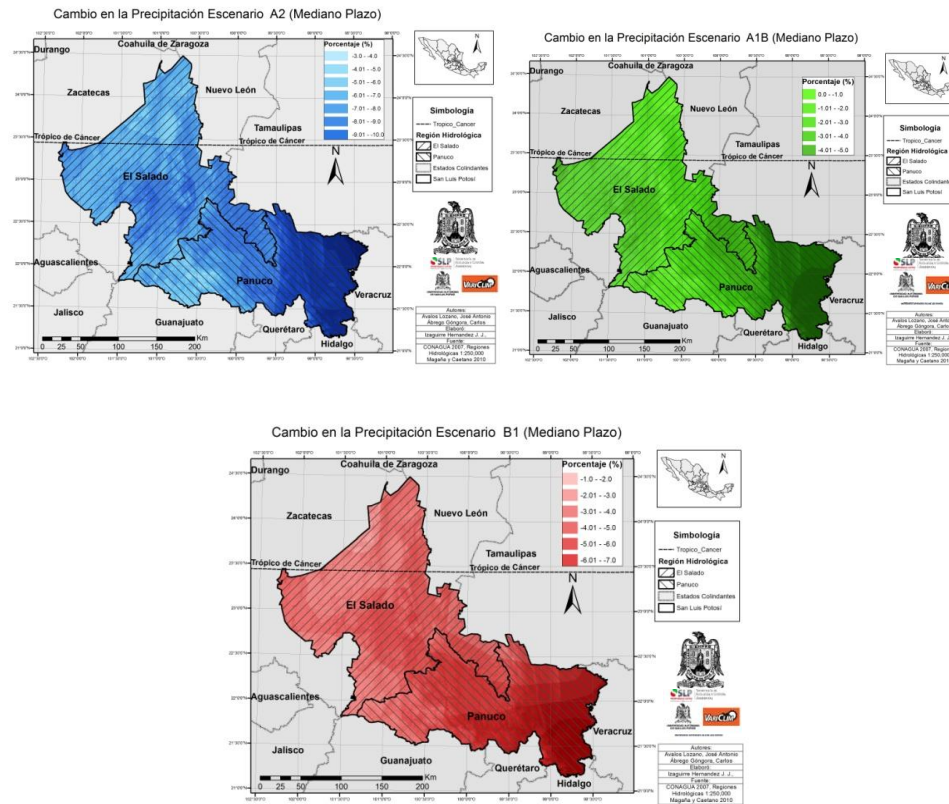
Para la evaluación de la precipitación se analizó la distribución espacial de la precipitación para el periodo 1970 – 2010, así como para los escenarios de cambio climático A2, A1B y B2 a corto, mediano y largo plazo desarrollado por Magaña y Caetano en el 2007.

La escorrentía superficial se determinó mediante el coeficiente de escurrimiento, el cual fue obtenido en base a los datos de escurrimiento natural medio superficial publicado por CONAGUA (2012). El cambio en el almacenamiento en los mantos subterráneos se determinó en base a los volúmenes de recarga y extracción a nivel de subregión hidrológica publicados por CONAGUA (2011). La evapotranspiración real se evaluó con la ecuación del balance hídrico.

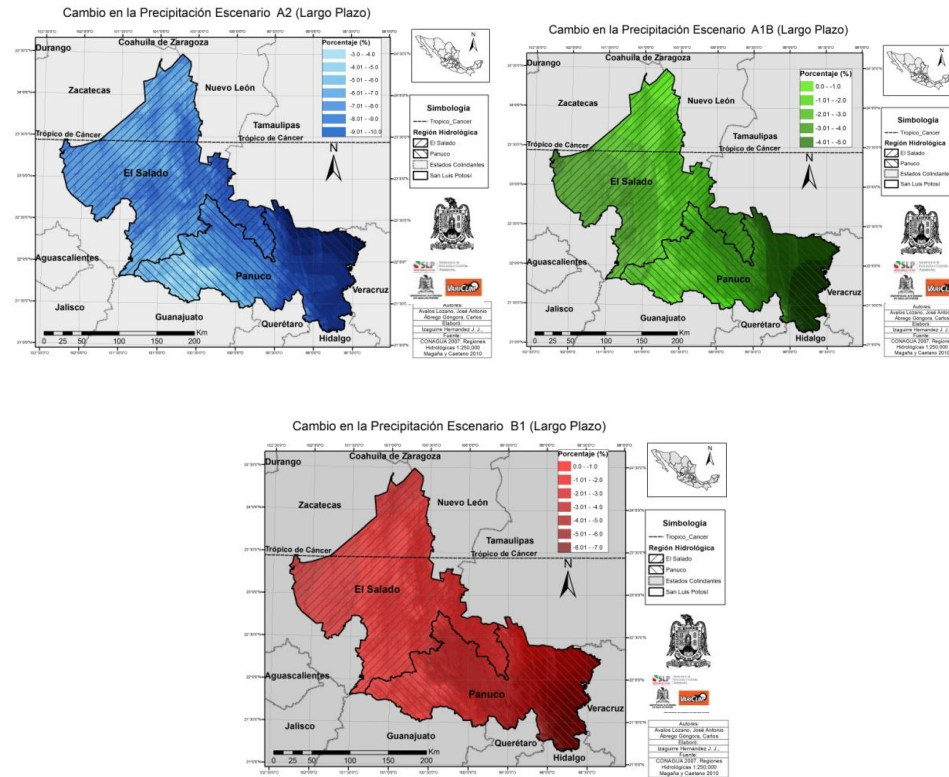
Para la evaluación del balance hidrológico bajo condiciones de cambio climático en el Estado, a corto, mediano y largo plazo, se tomó en cuenta la variación en la precipitación obtenida de los escenarios A2, A1B y B1, debido a que arrojaban resultados manejables, la incertidumbre de los escenarios de última generación era demasiada para utilizarlos. Para la escorrentía se consideró constante el coeficiente de escurrimiento (calculado para las condiciones actuales) de cada región hidrológica. Para estimar la Evapotranspiración real en condiciones de cambio climático se utilizó la fórmula propuesta por Turc (1955), con un previo ajuste de parámetros y determinando la temperatura media estimada para cada escenario y climatología (horizonte de proyección). El cambio en el almacenamiento en los acuíferos se determinó en función de las tres variables anteriores con la ecuación del balance hídrico, los resultados obtenidos se presentan en las tablas 6.6 y 6.7.



Mapa 6.4 Distribución espacial de la precipitación media anual a corto plazo para los escenarios A2, A1B y B1



Mapa 6.5 Distribución espacial de la precipitación media anual a mediano plazo para los escenarios A2, A1B y B1.



Mapa 6.6 Distribución espacial de la precipitación media anual a largo plazo para los escenarios A2, A1B y B1

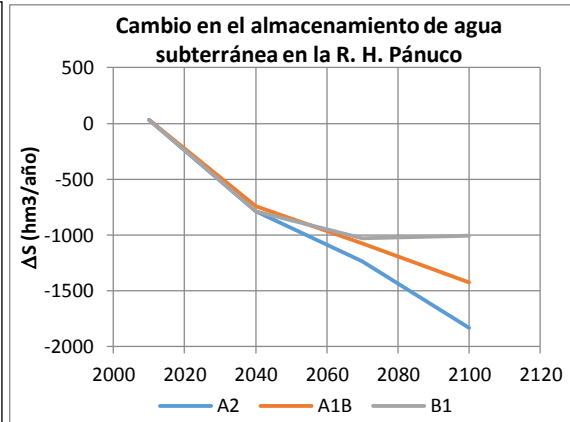
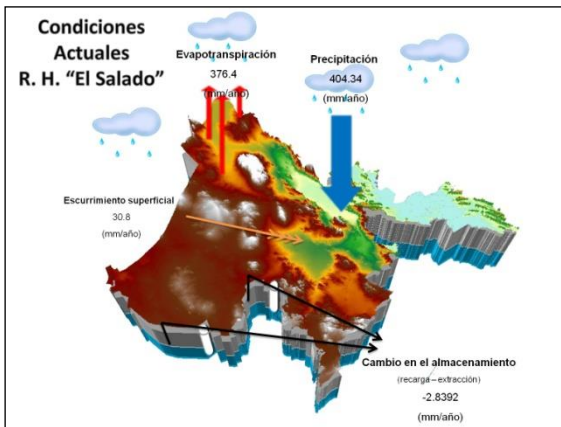
Tabla 6.2 Balance hidrológico para la R. H. Pánuco.

Climatología	Precipitación (mm/año)	ETR (mm/año)	Escorrentamiento superficial (mm/año)	Cambio en el almacenamiento (mm/año)	Δs ($hm^3/año$)
Actual (1971-2010)	941.89	724.5	216.1	1.3161	34.4
Escenario A₂					
corto plazo	896.86	721.2	205.8	-30.1	-786.9
mediano plazo	883.89	728.3	202.8	-47.3	-1235.5
largo plazo	879.84	748.0	201.9	-70.1	-1831.7
Escenario A₁B					
corto plazo	906.54	726.9	208.0	-28.4	-742.4
mediano plazo	915.68	746.7	210.1	-41.1	-1074.4
largo plazo	915.68	760.2	210.1	-54.6	-1426.6
Escenario B₁					
corto plazo	896.32	720.9	205.7	-30.2	-790.5
mediano plazo	895.03	729.0	205.4	-39.3	-1028.1
largo plazo	928.04	753.6	212.9	-38.5	-1006.4

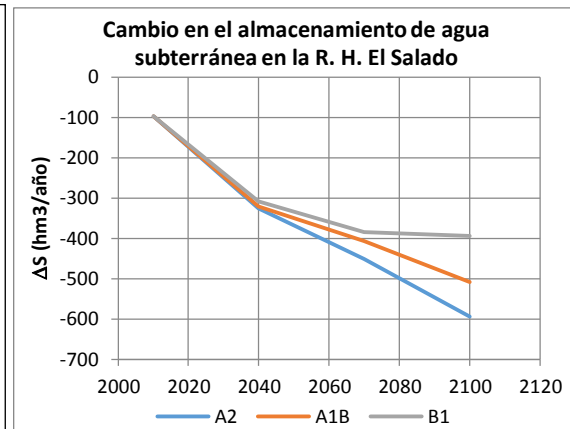
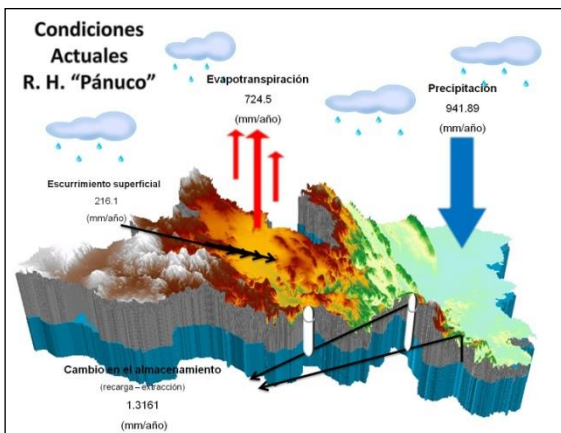
Tabla 6.3 Balance hidrológico para la R. H. El Salado.

Climatología	Precipitación (mm/año)	ETR (mm/año)	Escorrentamiento superficial (mm/año)	Cambio en el almacenamiento (mm/año)	Δs (hm ³ /año)
Actual (1971-2010)	404.34	376.4	30.8	-2.8392	-97.5
Escenario A₂					
corto plazo	385.75	365.8	29.4	-9.5	-325.9
mediano plazo	380.47	364.6	29.0	-13.1	-451.4
largo plazo	381.93	370.1	29.1	-17.3	-595.0
Escenario A₁B					
corto plazo	388.85	368.6	29.6	-9.4	-321.6
mediano plazo	394.70	376.5	30.1	-11.9	-407.2
largo plazo	394.70	379.4	30.1	-14.8	-507.9
Escenario B₁					
corto plazo	389.40	368.7	29.7	-9.0	-308.4
mediano plazo	387.45	369.1	29.5	-11.2	-385.1
largo plazo	400.41	381.4	30.5	-11.5	-394.7

A continuación, en los mapas 6.7 y 6.8 se presentan las gráficas correspondientes a las variaciones del cambio en el almacenamiento de los acuíferos del Estado. Como puede observarse, bajo los escenarios y plazos seleccionados, en ambas regiones hidrológicas podría haber un déficit significativo de agua en los mantos acuíferos del Estado, principalmente provocado por la disminución en la relación precipitación/ETR y, por lo tanto, en la humedad disponible en la atmósfera.



Mapa 6.7 Variación del almacenamiento subterráneo en la R. H. Pánuco para los escenarios A2, A1B y B1.



Mapa 6.8 Variación del almacenamiento subterráneo en la R. H. El Salado para los escenarios A2, A1B y B1.

Una vez calculado el balance hidrológico, se determinó la disponibilidad de agua *per cápita* para cada región hidrológica del estado, considerando que el agua disponible en una cuenca es igual a la suma de la escorrentía superficial y la recarga de agua subterránea (CONAGUA, 2012). El agua disponible *per cápita* se calculó dividiendo el agua disponible de cada región hidrológica entre su número total de habitantes. Para los escenarios futuros se consideró que la recarga en los acuíferos es proporcional a la precipitación proyectada por los diferentes escenarios. De acuerdo con INEGI (1997), la población proyectada para cada una

de las regiones hidrológicas se determinó con un modelo de crecimiento exponencial y sus parámetros fueron ajustados utilizando los censos de población de INEGI (2000; 2005 y 2010). Los resultados de disponibilidad de agua se presentan en las tablas 7.8 y 7.9

Tabla 6.4 Disponibilidad *per cápita* de agua en la R. H. Pánuco.

Climatología	Escoorrentía (hm ³ /año)	Recarga de acuíferos (hm ³ /año)	Disponibilidad de agua (hm ³ /año)	Población (millones de hab.)	Disponibilidad per cápita (m ³ /hab.-año)
Actual (1971-2010)	5650	250.1	5900	1.094	5391
Escenario A₂					
corto plazo	5379	238.1	5618	1.308	4295
mediano plazo	5302	234.7	5536	1.578	3507
largo plazo	5277	233.6	5511	1.905	2893
Escenario A₁B					
corto plazo	5438	240.7	5678	1.308	4341
mediano plazo	5492	243.1	5735	1.578	3634
largo plazo	5492	243.1	5735	1.905	3011
Escenario B₁					
corto plazo	5376	238.0	5614	1.308	4292
mediano plazo	5368	237.7	5606	1.578	3552
largo plazo	5566	246.4	5813	1.905	3052

Tabla 6.5 Disponibilidad *per cápita* de agua en la R. H. El Salado.

Climatología	Escoorrentía (hm ³ /año)	Recarga de acuíferos (hm ³ /año)	Disponibilidad de agua (hm ³ /año)	Población (millones de hab.)	Disponibilidad per cápita (m ³ /hab.-año)
Actual (1971-2010)	1059	357.7	1416	1.491	950.3
Escenario A₂					
corto plazo	1010	341.3	1351	2.408	561.3
mediano plazo	996	336.6	1333	3.886	343.0
largo plazo	1000	337.9	1338	6.273	213.3
Escenario A₁B					
corto plazo	1018	344.0	1362	2.408	565.8
mediano plazo	1033	349.2	1383	3.886	355.8
largo plazo	1033	349.2	1383	6.273	220.4
Escenario B₁					
corto plazo	1020	344.5	1364	2.408	566.6
mediano plazo	1014	342.8	1357	3.886	349.3
largo plazo	1048	354.3	1403	6.273	223.6

Para comprender más fácilmente los resultados representados de las tablas anteriores, a continuación, se presentan las figuras 6.2 y 6.3 correspondientes a la disponibilidad de agua *per cápita* para las dos regiones hidrológicas del Estado y sus proyecciones de acuerdo a los escenarios de cambio climático en combinación con la variación en la población. En dichas gráficas se puede observar claramente que, si se mantienen las tendencias de crecimiento poblacional en ambas regiones hidrológicas, la disponibilidad de agua en todo el Estado será drásticamente disminuida.

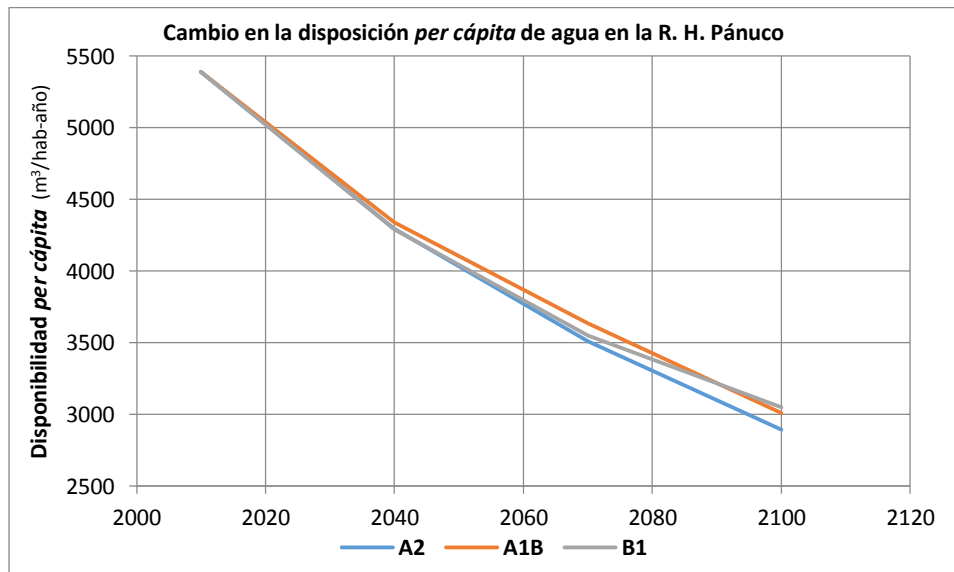


Figura 6.2 Variación en la disposición de agua *per cápita* en la R. H. Pánuco para los escenarios A2, A1B y B1.

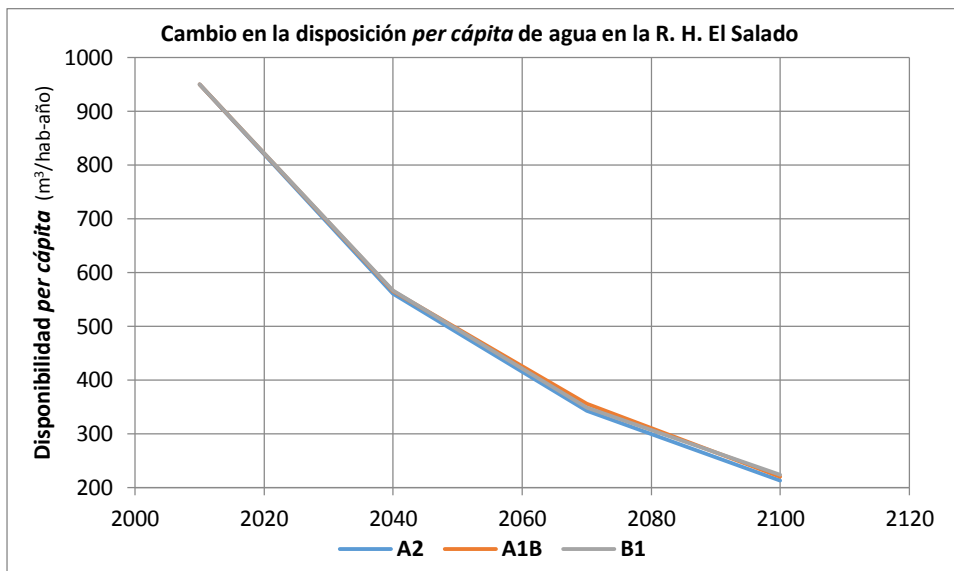


Figura 6.3 Variación en la disposición de agua *per cápita* en la R. H. El Salado para los escenarios A2, A1B y B1.

Los tres escenarios de cambio climático utilizados para el análisis del balance hidrológico a nivel estatal, coinciden en la disminución de la precipitación (a corto,

mediano y largo plazo), para las dos regiones hidrológicas en las que se encuentra San Luis Potosí.

El análisis realizado señala que la disminución en la precipitación combinada con el aumento en la temperatura media, podrían ocasionar un aumento en la evapotranspiración real; lo cual generaría la sobreexplotación de los mantos acuíferos del Estado, con un déficit promedio de 773.3, 1112.7 y 1421.6 hm³/año a corto, mediano y largo plazo para la R. H. Pánuco y de 318.6, 414.6 y 499.2 hm³/año para la R. H. El Salado, respectivamente.

En cuanto a la disponibilidad de agua *per cápita* en el Estado de San Luis Potosí, si se mantienen las tendencias de crecimiento poblacional, ocasionarán una presión en el recurso hídrico tal que en la R. H. El Salado la disponibilidad de agua podría llegar hasta 564.6, 349.3 y 219.1 m³/hab.-año, a corto, mediano y largo plazo, respectivamente; quedando a corto plazo en el rango de escasez crónica de agua; a mediano y largo plazo en el rango de escasez absoluta de agua, de acuerdo a los niveles de estrés hídrico establecidos por la FAO (2012).

Un problema que requiere particular atención por su importancia en el balance hidrológico y en la disponibilidad de agua es la pérdida de la integridad funcional de cuencas, lo cual influye en la recarga de acuíferos y en la formación de corrientes. Esta pérdida motivada por el cambio en el uso de la tierra (CUS) y la erosión como puede observarse en el mapa 6.9 y la tabla 6.6

Las zonas de cabecera más fuertemente perturbadas por la erosión son las correspondientes a la Región Huasteca en la misma zona donde la vulnerabilidad climática se manifiesta con mayor intensidad.

Tabla 6.6 Erosión en las zonas de cabecera (ZC) de las cuencas de San Luis Potosí.

Subcuenca	Área subc. km2	Area ZC km2	Superficie erosionada Km2	%	Subcuenca	Área subc. km2	Area ZC km2	Superficie erosionada Km2	%
(A)a Río Panuco	742.55	215.73	79.19	36.71	(B)a Matehuala	3703.32	572.41	9.55	1.67
(A)b Río Tamesí	520.56	520.54	191.52	36.79	(B)b Presa los Pilares	6771.19	942.62	124.01	13.16
(A)c Río Tamuín o Tampaón	2609.53	338.95	270.91	79.93	(B)c Presa San José	1863.95	416.01	44.65	10.73
(A)d Río Valles	541.27	159.82	105.58	66.06	(C)a Huertecillas	1641.50	213.93	1.23	0.57
(A)e Río Puerco	654.03	366.44	132.23	36.09	(D)a Catorce	3515.09	411.31	5.44	1.32
(A)f Río Mesillas	310.12	67.61	66.33	98.10	(E)a San Tiburcio	378.43	43.88	0.00	0.00
(A)g Río de los Naranjos	1501.40	539.92	491.10	90.96	(F)a Yesca	2497.32	214.20	48.80	22.78
(A)h1 Drenaje Subterráneo	395.50	37.35	36.39	97.44	(F)b Presa San Pablo	579.65	12.66	1.23	9.71
(A)h2 Drenaje Subterráneo	216.67	21.12	21.12	100.00	(F)c Mesa Chiquihuitillo	2030.90	189.10	12.22	6.46
(A)i Río Gallinas	1286.79	561.87	501.83	89.31	(G)a Mesa Chiquihuitillo 2	3344.08	622.05	101.91	16.38
(A)j Río Verde	9031.60	4217.40	1863.68	44.19	(G)b Presa San Pablo 2	487.02	14.33	0.08	0.59
(A)k Río Sta. María Alto	4309.38	2262.12	363.38	16.06	(H)a Presa San Pablo 3	693.89	118.18	2.74	2.32
(A)l Río Sta. María Bajo	855.45	389.23	246.25	63.26	(I)m Cuenca Cerrada Ocampo	57.78	4.92	0.00	0.00

Subcuenca	Área subc. km2	Area ZC km2	Superficie erosionada Km2	%	Subcuenca	Área subc. km2	Area ZC km2	Superficie erosionada Km2	%
(A)m Drenaje Subterráneo 3	364.86	334.20	331.57	99.21	(J)a Presa San José 2	1816.62	797.45	92.00	11.54
(A)n Río Moctezuma	1893.03	532.35	337.98	63.49	(K)a Tula	4103.12	846.26	434.10	51.30
(A)o Río Axtla	659.17	370.35	311.04	83.98	(L)a Bustamante	608.11	113.85	3.30	2.90
(A)p Río San Pedro	349.88	103.04	60.09	58.32	General	60333.77	16571.22	6291.44	37.97

6.4 SALUD Y CAMBIO CLIMÁTICO EN EL ESTADO DE SAN LUIS POTOSÍ

Autora del capítulo Dra. Gabriela Domínguez Cortinas

6.4.1 Introducción

La salud, en su sentido más amplio, se define como un fenómeno multifactorial y multicausal que depende de la integración armónica y equilibrada de una compleja red de factores biológicos, sanitarios, sociales, ambientales, económicos, políticos y culturales, que la constituyen como la base de la integridad funcional de todo sistema vivo.

Bajo esta óptica, los individuos y poblaciones “sanos o saludables” son aquellos que se encuentran en posibilidades de alcanzar un nivel óptimo de competencias y capacidades, que les permitan enfrentarse y responder adecuadamente a las diferentes amenazas del entorno, como pudieran ser, entre otras, las múltiples alteraciones que han venido sufriendo los ecosistemas y los climas locales y regionales, a causa de la variabilidad y el cambio climático que, hoy por hoy, representa una de las mayores amenazas que enfrentamos a nivel mundial.

Dichos cambios globales, deben hacernos conscientes de que el alcance de la sostenibilidad basada en la buena condición de salud y bienestar de las poblaciones humanas a corto, mediano y largo plazo, dependerá necesariamente de un abordaje tal del problema, que nos permita diseñar y dirigir acciones que redunden en la preservación de la homeostasis y homeorresis de los sistemas socio ambientales, sanitarios, geofísicos, políticos y socioeconómicos en su conjunto. De acuerdo a esto, el fenómeno de variabilidad y cambio climático representa un reto de gran envergadura en términos de las iniciativas que deberemos implementar para la generación de políticas públicas que de manera efectiva se perfilen al alcance y preservación de la salud y calidad de vida de los seres humanos.

6.4.2. Salud y crisis ambiental

Los estudios de la epidemiología, sobre la distribución y determinantes de eventos relacionados con la salud, han sido conducidos desde distintos marcos epistemológicos. Durante los últimos tiempos, prevaleció el enfoque clásico basado en la identificación de factores individuales de riesgo, no obstante, con el advenimiento, cada vez mayor, de enfermedades multicausales de latencia prolongada, así como, enfermedades emergentes y reemergentes, se plantearon cuestionamientos transcendentales sobre los sistemas de análisis en salud (26-27). En décadas recientes, en términos de protección y atención a la salud, ha tomado mayor importancia el contexto ambiental de las poblaciones humanas, ya que se estima que una cuarta parte de la morbilidad a nivel mundial, es consecuencia de factores ambientales modificables (28-29).

Asimismo, las tendencias ambientales y sociales de los últimos tiempos han cambiado los usuales modelos de riesgo para la salud, volviéndose fundamental entender la constitución del ambiente humano como un sistema socioecológico (22). Por ejemplo, la deforestación genera cambios en las condiciones del clima local y del hábitat de los organismos, que modifican la composición y distribución de la flora y fauna y de los balances entre sus poblaciones; este fenómeno, junto con las prácticas de aprovechamiento de tierras, la ubicación de los asentamientos humanos, la modificación del diseño de las viviendas y el desarrollo de megaproyectos de apresamiento de recursos hídricos, han sido factores relevantes que han ampliado las áreas de distribución del mosquito portador del paludismo (28). Se estima que el porcentaje atribuible de dicha enfermedad a factores ambientales modificables es superior al 40%, y aunque a escala global se ha logrado reducir la mortalidad que provoca, en países de regiones tropicales de África y Latinoamérica se ha elevado la incidencia en algunas zonas (10, 28-29).

El desarrollo de gigantescos proyectos de irrigación para la producción agrícola industrial en países como Sudán, Egipto, Irán y China, en combinación con patrones de lluvia, temperatura y modificación de la vegetación, han facilitado la reproducción del caracol portador del parásito de esquistosomiasis, aumentando así la incidencia de dicha enfermedad que afecta al menos a 230 millones de personas al año según la OMS (29).

Una larga lista de enfermedades que se relaciona con la perturbación del ambiente ha ido creciendo con el tiempo. No obstante, se reconocen cada vez más la pérdida o degradación de ecosistemas, particularmente de los elementos y funciones que soportan la vida y regulan sus procesos, como las condiciones que menoscaban la salud de los grupos humanos. En esta visión ecológica de la salud se ha tomado conciencia de que hay cambios en la ecología humana, con relación a los entornos naturales y sociales, que influyen en el comportamiento de las enfermedades (25-27).

Ciertos virus de la influenza aviar han atravesado la barrera entre especies por los sistemas de producción intensiva que facilitan la génesis y propagación de patógenos para humanos. Las aves de corral son contagiadas por aves migratorias acuáticas. La expansión a escala mundial en la industria avícola y sus derivados, sobretodo en cercanía con zonas urbanas o muy pobladas, así como el incremento de la circulación de alimentos provocan un mayor contacto (26). Para evitar problemas asociados a las altas densidades de animales en los sitios de producción, se les proporcionan dosis subclínicas de antibióticos, lo que provoca, la aparición de cepas de bacterias patógenas para humanos resistentes (27-28).

También se ha explicado la presencia de algunos de los más de 30 organismos causantes de las enfermedades emergentes y reemergentes que han surgido en las últimas décadas a partir de la generación de nuevos ambientes alterados por la destrucción de hábitats o contaminación (30-31). Las primeras son causadas por organismos de nueva aparición o que ya existían, pero recientemente han afectado en proporciones epidémicas, incluso en lugares en que antes no se registraban. La mayoría son zoonóticas, es decir, que se transmiten al humano por contagio desde animales (30-31). Las otras son enfermedades infecciosas que a mediados del siglo pasado se creían controladas y que actualmente muestran un repunte en su incidencia o letalidad (29-31).

6.4.3 La salud y los impactos de la variabilidad y el cambio climático

De acuerdo al tercer y cuarto informes de evaluación presentados por el IPCC (Grupo Intergubernamental de expertos sobre Cambio Climático) en 2001 y 2007, se estima que, de manera general, la variabilidad y el cambio climático aumentarán los peligros para las poblaciones humanas, sobre todo para aquellas que se encuentran por debajo de la línea de pobreza de los países tropicales y subtropicales. Según

dichas proyecciones (1, 3-4), las poblaciones humanas se verán afectadas directa e indirectamente a consecuencia de cambios de temperatura abruptos (demasiado altas o bajas), inundaciones y tormentas, alteración en la distribución de vectores y patógenos transmitidos por el agua, así como, por la poca disponibilidad de agua, aire y alimentos de buena calidad.

Por ejemplo, en los diferentes estados del territorio mexicano, existen comunidades que se encuentran en riesgo de padecer huracanes, inundaciones, derrumbes y sequías. Esto lo confirma el primer reporte de la Dirección General de Salud Ambiental en México (2002) en el período de 1997 a 2001, que establece que los desastres naturales que se presentaron con mayor frecuencia en 17 entidades federativas, fueron los hidrometeorológicos, representando el 77% del total de desastres naturales registrados en dicho período (1-3). Solamente en el estado de San Luis potosí, la Secretaría de Gobernación publicó la Declaratoria de Emergencia para cinco municipios que resultaron afectados por lluvias atípicas e inundaciones los primeros días del mes de julio de 2008.

Es importante señalar, que ante este tipo de eventos hidrometeorológicos surgen nuevos factores de riesgo que incrementan la vulnerabilidad de las poblaciones humanas. Entre los principales factores de riesgo emergentes por inundaciones, señalados por la OPS (1997) (2, 5-10), se encuentran los siguientes: a) Aumento del riesgo potencial de enfermedades transmisibles que generan muertes prematuras, incrementan la morbilidad y disminuyen la calidad de vida de las personas; b) Riesgo por escasez de alimentos y/o por consumo de alimentos contaminados o en malas condiciones, que acarrea problemas severos de desnutrición aguda, principalmente en la población infantil; c) Riesgo de un incremento de mortalidad y morbilidad por la incapacidad de los servicios locales de salud para responder a las necesidades de la población afectada; d) Aumento de riesgos de mortalidad y morbilidad por la alteración en la prestación de servicios de salud rutinarios principalmente de tipo preventivos para poder atender las emergencias; e) Aumento de riesgos psicosociales que incluyen el pánico generalizado en la población, así como conductas de ansiedad, neurosis y depresión.

Por otro lado, se ha identificado que muchas enfermedades diarreicas que varían con las estaciones alcanzan su máximo nivel de incidencia durante la época de lluvias, por lo que las inundaciones aumentan el riesgo de enfermedades diarreicas

por parasitosis intestinal (3, 4). De acuerdo a esto, las principales causas de diarrea relacionadas con precipitaciones abundantes, inundaciones y contaminación de agua de abastecimiento son: el cólera, las criptosporidiosis, las infecciones por E. coli, giardiasis, shigelosis, amebiasis, helmintiasis, fiebre tifoidea, y las virosis como la hepatitis A (22, 18, 19); respecto a lo anterior, resulta importante mencionar que como resultado de un estudio piloto desarrollado por el Instituto Nacional de Salud Pública (20) sobre escenarios de riesgos en salud asociados al cambio climático en algunas regiones seleccionadas en México, se prevén como escenarios epidemiológicos futuros debido a cambios en la temperatura y la precipitación media esperada para el año 2050, un probable aumento en los casos de dengue y enfermedades diarreicas agudas (EDA) en la región Olmeca en el sur del estado de Veracruz.

La Organización Mundial de la Salud (23) ha señalado que los cambios climáticos recientes han tenido varias consecuencias en la salud de las poblaciones humanas; como la muerte de más de 44 000 personas que provocó la ola de calor que sufrió Europa en 2003. Asimismo, enfermedades consideradas sensibles al clima, como las enfermedades diarreicas (1,9 millones) y la malaria (0,9 millones), se encuentran actualmente entre las causas más importantes de la carga mundial de morbilidad.

El aumento de las aguas superficiales durante los períodos de inundación, favorecen la aparición de especies de mosquitos vectores de enfermedades, que propagan básicamente la malaria, el dengue y la fiebre amarilla. En condiciones larvales, los mosquitos necesitan aguas estancadas para reproducirse, y los adultos necesitan un medio húmedo para sobrevivir, así como temperaturas más elevadas que favorecen su reproducción y reducen el período de maduración de los microorganismos patógenos en su interior (22). Por ejemplo, el dengue, es la arbovirosis más importante en el ser humano y se localiza en regiones tropicales y subtropicales, sobre todo en el medio urbano, sin embargo, el aumento de lluvias e inundaciones afecta su frecuencia, porque induce cambios en las prácticas de almacenamiento doméstico de agua y en la acumulación de aguas superficiales (22). Esto fue demostrado por Hales (1996) (21) en un estudio que realizó en el Pacífico Sur durante los años de 1970 a 1995, encontrando correlaciones positivas entre el aumento del número anual de epidemias de dengue y el aumento de humedad y lluvias en dicho período. En el caso particular del municipio de Ciudad Valles en el estado de San Luis potosí, por ejemplo; también hemos podido confirmar esta

asociación, ya que en el 2008, en el que se presentó un intenso período de lluvias con importantes inundaciones, también se registró, según datos reportados por la Jurisdicción Sanitaria V, un aumento considerable de casos de dengue con respecto al 2007 en el que se registraron 83 casos de la enfermedad, contra 116 para el cierre de 2008. Esto representó un aumento en la incidencia de dengue del 28%.

Otras enfermedades transmitidas por roedores y garrapatas tales como el hantavirus, la leptospirosis, tularemia, virosis hemorrágica, enfermedad de Lyme, encefalitis y síndrome pulmonar, también se asocian con las inundaciones (22).

Por otro lado, las variaciones extremas del clima, que han ido dificultando el manejo sustentable de los recursos naturales y la conservación de la diversidad biológica en todas sus formas, también han provocado la pérdida de plantas de importancia alimenticia que de manera tradicional han sido utilizadas por las comunidades rurales e indígenas como su fuente primordial de nutrientes. Esto ha ocasionado la adopción de dietas de pobre calidad nutricional, desencadenando problemas de salud como la desnutrición, la obesidad, el síndrome metabólico y las enfermedades crónico degenerativas, entre otras (13). Actualmente en México, estos padecimientos representan una fuerte amenaza que no solo merma la calidad de vida de las poblaciones, sino que compromete seriamente su capacidad de supervivencia. En la Cumbre Mundial sobre seguridad alimentaria del 2009, la FAO planteó la necesidad de diseñar estrategias para la producción de alimentos alternativos de mejor calidad nutricional a pequeña escala (13). Asimismo, la OMS ha manifestado la necesidad de que los países con alta inseguridad alimentaria tomen acciones encaminadas a la generación de diagnósticos oportunos para el diseño de programas preventivos contra los padecimientos derivados de la malnutrición (9-10, 12-13).

Otro de los efectos de la variabilidad y el cambio climático, es el incremento de la exposición a diversos tipos de sustancias tóxicas ya sea; por:

a) Inundación, favoreciendo que los sedimentos contaminados impacten áreas urbanas, o dispersando en el ambiente materiales tóxicos almacenados en bodegas, talleres, etc.;

b) Sequía, incrementando la generación de polvos que por acción de los vientos, por ejemplo, en sitios mineros, transportan partículas tóxicas a la población; o bien,

concentrando elementos contaminantes en acuíferos por la sobreexplotación de éstos;

c) Incendios forestales; que por aumento en la temperatura, favorecen la exposición a partículas e hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) durante estos eventos, que provocan la evaporación de compuestos como los orgánicos semivolátiles o el mercurio elemental;

La variabilidad y el cambio climático, por otro lado, provocan la modificación de los patrones de distribución temporal, territorial y la densidad de los vectores, propiciando la aparición de nuevas plagas y enfermedades; o por el cambio de cultivos que bien podrían asociarse con un mayor uso de plaguicidas.

También es muy importante tener en cuenta que los factores sociales adversos aumentan los riesgos y la vulnerabilidad de las poblaciones ante este tipo de fenómenos, luego entonces, las condiciones de la vivienda (tipo y calidad de materiales), así como la infraestructura de saneamiento (agua entubada, drenaje, energía eléctrica) y de desarrollo social (pavimentación de calles, alumbrado público, servicio telefónico), y el acceso a servicios de salud gratuitos de buena calidad, entre otros, toman gran relevancia dado que determinan significativamente el impacto de los riesgos ambientales en los momentos de contingencia (9, 10, 11).

De acuerdo a esto, es importante resaltar que los impactos de la variabilidad y el cambio climático sobre las poblaciones humanas, no solo dependerá de la naturaleza y la magnitud de la amenaza en sí, sino también de los niveles de vulnerabilidad social, ambiental, política, cultural y sanitaria en aquellas poblaciones con fuertes rezagos y problemas no resueltos, que pudieran mermar su capacidad para contrarrestar los riesgos, mitigar los impactos y manejar o adaptarse a las amenazas climáticas, evitando en lo posible, la materialización de los desastres sanitarios y socio ambientales (12, 13).

Las manifestaciones de la variabilidad y el cambio climático representan, entonces, una fuerte amenaza para la salud de las poblaciones humanas, cuyo impacto pudiera ser altamente significativo, no solo por propiciar el incremento de las prevalencias e incidencias de múltiples enfermedades que ya hoy rebasan la capacidad de atención y respuesta de nuestros sistemas de salud, sino también por inducir a cambios en los mecanismos de transmisión y en los patrones de distribución espacial y temporal de enfermedades que históricamente han

permanecido confinadas a ciertas áreas geográficas y que ahora pudieran moverse a nuevos territorios generando los consecuentes daños.

6.4.4 Descripción metodológica

El presente estudio se centra en la generación de un diagnóstico integral de salud para el estado de San Luis Potosí, construido a partir de la identificación y análisis de las variaciones y tendencias de los principales patrones espaciales y temporales tanto de las variables meteorológicas (temperatura máxima, temperatura mínima y precipitación), como de la morbilidad y mortalidad atribuible a 29 enfermedades de interés dada su relación directa o indirecta con los diferentes factores climáticos.

Dichas enfermedades, fueron seleccionadas según los posibles impactos de la variabilidad y el cambio climático sobre ellas, siendo las muertes por golpes de calor o por heladas y/o frentes fríos las consideradas de impacto directo, y las nutricionales y transmisibles, de impacto indirecto. Dada su importancia epidemiológica y etiológica, las enfermedades transmisibles fueron clasificadas en tres grupos: 1) enfermedades emergente (rotavirus, neumonía y bronconeumonía), 2) enfermedades reemergentes (tuberculosis, cólera, dengue, paludismo y tos ferina), y 3) enfermedades de seguimiento y vigilancia epidemiológica tales como: leishmaniosis, Chagas, meningitis, brucelosis, shigelosis, teniasis, ascariasis, giardiasis, amebiasis, hepatitis A, tifoidea, paratifoidea, infecciones intestinales, infecciones respiratorias agudas e influenza. También se evaluaron enfermedades no transmisibles como asma, enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC), anemia, desnutrición calórica e intoxicación por alimentos (Figura 6.4).

Para la construcción de dicho diagnóstico fueron calculadas las tasas de incidencia de morbilidad y las tasas de mortalidad de cada una de las enfermedades mencionadas, considerando un periodo de 15 años (1996 a 2010) a una escala de desagregación municipal. Todos los datos de morbilidad y mortalidad requeridos para dicho análisis fueron proporcionados por los Servicios de Salud del Estado (2012).

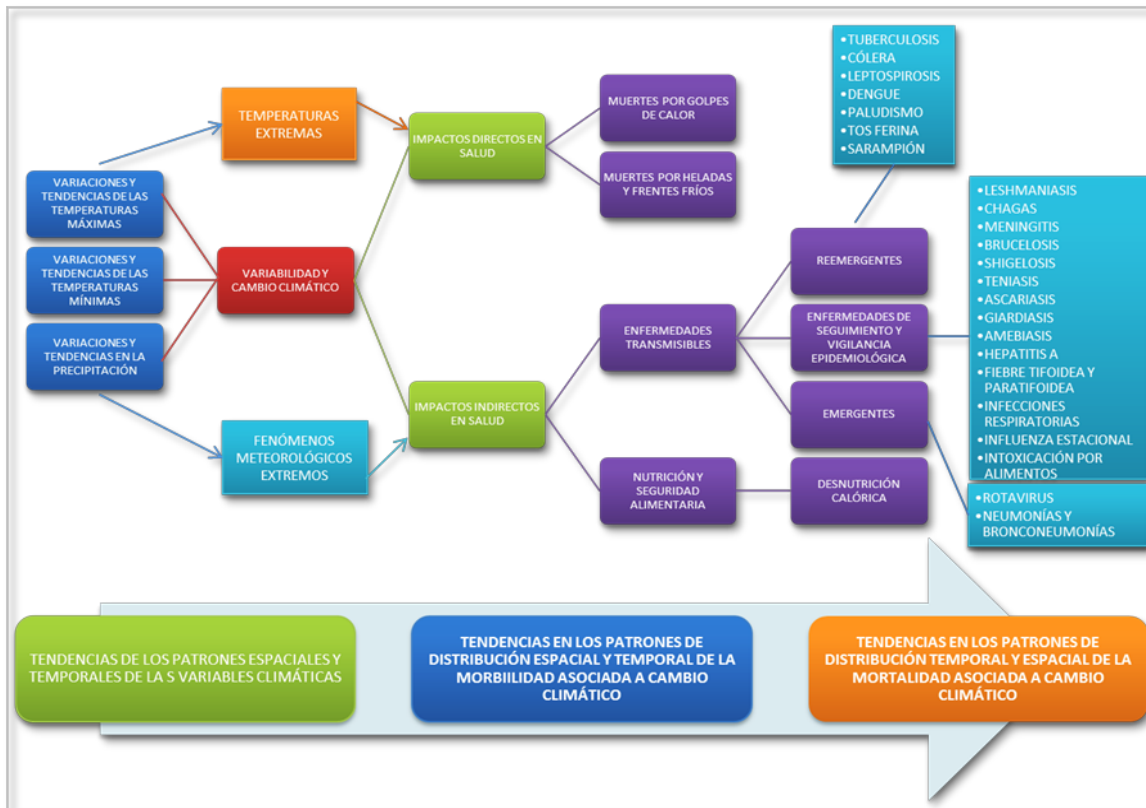


Figura 6.4. Esquema metodológico de los factores climáticos y de salud evaluados.

Para la identificación de patrones de distribución espacial y temporal de las variables meteorológicas (temperaturas máximas, mínimas y precipitación, entre otras) se realizó una búsqueda exhaustiva de información climática disponible para todo el Estado, a partir de los datos diarios de las series de tiempo de 106 estaciones meteorológicas ubicadas en las cabeceras municipales y/o colindantes con las principales manchas poblacionales de cada municipio, a fin de garantizar la correspondencia y comparabilidad con los datos de salud. A partir del análisis de dichos datos climáticos, fueron calculados los valores promedio de las temperaturas máximas y mínimas, así como los valores totales de la precipitación, para cada estación meteorológica. Asimismo, todos los datos climáticos y de salud fueron analizados a través de medidas de tendencia lineal aplicando el método de mínimos cuadrados, y adicionalmente, se llevaron a cabo pruebas de correlación de Spearman para la identificación de posibles relaciones entre los diferentes grupos de datos. Cabe mencionar que para el diagnóstico integral de salud, únicamente se trabajó la información meteorológica correspondiente al periodo de 1996 a 2010, misma que fue previamente depurada y estandarizada para su correcto análisis e interpretación.

Para llevar a cabo una evaluación de vulnerabilidad desde la perspectiva de los determinantes sociales y ambientales de la salud, fue realizado un análisis exploratorio de factores, aplicando el método de extracción de Componentes Principales, con la finalidad de identificar las relaciones multivariadas entre los datos climáticos y algunos determinantes sociales de la salud, a fin de identificar los pesos específicos de su posible atribución respecto a las condiciones de morbilidad y mortalidad identificadas en los diferentes municipios. Los determinantes sociales de la salud seleccionados para este análisis fueron los siguientes: 1) número de habitantes por cada unidad de consulta externa, 2) número de unidades de hospitalización en el municipio, 3) número de habitantes por personal médico, 4) porcentaje de población sin derechohabencia a servicios de salud, 5) porcentaje de población que sufre pobreza alimentaria, 6) porcentaje de población que sufre pobreza de capacidades, 7) porcentaje de población que sufre pobreza de patrimonio, 8) porcentaje de población analfabeta de 15 años y más, 9) porcentaje de ocupantes en viviendas sin drenaje ni servicio sanitario exclusivo, 10) porcentaje de ocupantes en viviendas sin agua entubada, 11) porcentaje de viviendas con algún nivel de hacinamiento, 12) porcentaje de ocupantes en viviendas con piso de tierra, 13) porcentaje de población ocupada con bajos ingreso (hasta 2 salarios mínimos).

Cabe mencionar que todos estos indicadores fueron obtenidos de las bases de datos de INEGI, CONAPO y CONEVAL para los años 2000, 2005 y 2010 a un nivel de desagregación municipal, por lo que para realizar el análisis multifactorial solo fueron empleados los datos climáticos y de morbilidad y mortalidad correspondientes a dichos años.

Asimismo, a partir de dicho análisis multivariado, se logró la integración cuantitativa de las tasas de morbilidad y mortalidad, así como de los valores de los determinantes sociales de salud obtenidos para cada municipio, calculando los respectivos índices de vulnerabilidad.

6.4.5 Resultados del análisis climático

A partir de los resultados correspondientes a los valores promedio de las temperaturas máximas y mínimas, así como, los valores totales de la precipitación, se observó un panorama general de las condiciones climáticas más relevantes identificadas para el estado de San Luis Potosí. Dichos resultados mostraron valores promedio de la temperatura máxima y mínima que van de los 29°C a los 44°C, y de

los 2°C a los 16°C respectivamente, así como valores de la precipitación, en el Valle de Rioverde, en el Municipio de Ciudad del Maíz, se localiza la zona de menor precipitación del estado con 166,18 mm/anuales (Estación 24190 “La Libertad”); en segundo lugar encontramos la zona norte de la Sierra de Guaname en la región Planicie Occidental, con precipitaciones entre 205-215 mm/año (estaciones 24161 “La Herradura y 24019 “El Estribo”); y en tercer lugar, el Valle de San Cristóbal en la vertiente norte y oeste de la Sierra de Catorce, en la región Bóreo-Central, con precipitaciones entre 239-263 mm (estación 24144 La Cardoncita y 24094 Vanegas).

En más del 55% del territorio la precipitación se encuentra entre 300 y 500 mm, la mayoría ubicado en la Altiplanicie¹⁰, en las subregiones: Planicie Occidental, Bóreo-Central, Sierras Meridionales y Valle de Rioverde.

En algunas pequeñas sierras del altiplano, en el piedemonte de la Sierra de Catorce, en una franja del sotavento de la SMO y en la Planicie Costera la precipitación alcanza de 500 a 1000 mm. En cambio, la mayor parte de la SMO, una pequeña parte de la Planicie Costera y la parte alta de la Sierra de Catorce reciben de 1000 a 1600 mm; en un pequeño corredor, situado en el sureste de la SMO, se reciben lluvias superiores a los 1600 mm, la franja es muy estrecha hacia el norte (Ciudad del Maíz), desde Tamasopo se ensancha hacia el sur, alcanzando su mayor dimensión en Xilitla, coincidiendo con las alturas máximas de la SMO. Cerca de Xilitla llueven entre 2500 y 3000 mm/año. Alcanzándose la máxima precipitación registrada en el estado en la estación 24125 “Tlamaya” con 3003 mm/año, ver Mapa 5.5.

De acuerdo con esto, la región Huasteca presentó los valores promedio de temperatura máxima (44°C, 39°C, 38°C), temperatura mínima (16°C, 15°C, 14°C, 13°C, 12°C) y precipitación total más altos de la entidad, mientras que la región Altiplano exhibió los valores de precipitación total más bajos de la misma. Por otro lado, los valores promedio de la temperatura máxima más bajos del Estado se observaron en la zona Media (29°C) y en la región Altiplano (29,3°C, 29,4°C), en contraste, los valores promedio de la temperatura mínima más bajos se identificaron en la zona Media (1,8°C) y en la región Altiplano (de 2,5°C a 2,9°C).

A partir del cálculo de las tendencias de la temperatura máxima promedio (Tx) de las diferentes estaciones meteorológicas analizadas (Tablas 2 y 3), se logró identificar un patrón de distribución espacial que muestra una tendencia al aumento

¹⁰ Siguiendo a (Rzedowski, 1966, pág. 25) en San Luis Potosí se considera una sola región Altiplano, a diferencia de Tamayo.

de la temperatura máxima promedio (más días más calientes) en 30 de 54 municipios evaluados, lo que representa el 56% de los municipios del Estado. Cabe mencionar que de los 30 municipios con tendencias positivas de la temperatura máxima promedio, el 30% y 33% se concentran en la región Huasteca y zona Media respectivamente, el 20% en la región Altiplano y el 17% en la zona Centro.

Por el contrario, un 44% de municipios del Estado presentaron una tendencia negativa de la temperatura máxima promedio (más días más fríos), siendo la mayor parte de éstos de la región Huasteca (38%), Altiplano (38%) y zona Centro (21%). Los resultados de las tendencias de la temperatura mínima promedio (Tn), mostraron a un 50% de municipios con tendencias positivas (más noches más calientes) y a un 50% con tendencias negativas (más noches más frías), siendo las regiones Huasteca y Altiplano las que concentraron el mayor número de municipios con tendencias de la temperatura mínima promedio positivas (30%) y negativas (37% y 26% respectivamente).

Respecto a las tendencias de la precipitación total (Pp), se identificó a un 74% de municipios del Estado con tendencias al aumento de la precipitación (tendencias positivas), siendo la región Huasteca la que concentró el mayor número de éstos municipios (40%), seguido de la región Altiplano (28%), zona Media (20%) y zona Centro (13%). Por el contrario, solo el 26% de los municipios de la entidad mostraron tendencias a la disminución de la precipitación (tendencias negativas), perteneciendo el 36% de éstos a la zona Centro, el 29% a la región Altiplano, el 21% a la zona Media y el 14% a la región Huasteca.

La integración de los diferentes datos meteorológicos por municipio y región, nos permitió identificar ocho patrones climáticos en el estado de San Luis Potosí, siendo los cuatro más importantes dada su prevalencia en el 74% de los municipios de toda la entidad, los siguientes: 1) Días y noches más calientes con más lluvia ($\uparrow T_x$, $\uparrow T_n$, $\uparrow P_p$), 24% de los municipios; 2) Días y noches más fríos con más lluvia ($\downarrow T_x$, $\downarrow T_n$, $\uparrow P_p$), 20% de los municipios; 3) Días más calientes y noches más frías con más lluvia ($\uparrow T_x$, $\downarrow T_n$, $\uparrow P_p$), 19% de los municipios; y 4) Días más fríos, noches más calientes y más lluvia ($\downarrow T_x$, $\uparrow T_n$, $\uparrow P_p$), 11% de los municipios.

Los otros cuatro patrones climáticos presentes en solo un 26% de los municipios del Estado fueron los siguientes: 5) Días y noches más calientes con menos lluvia ($\uparrow T_x$, $\uparrow T_n$, $\downarrow P_p$), en 7% de los municipios; 6) Días más fríos y noches más calientes con menos lluvia ($\downarrow T_x$, $\uparrow T_n$, $\downarrow P_p$), en 7% de los municipios; 7) Días y noches más fríos con menos lluvia ($\downarrow T_x$, $\downarrow T_n$, $\downarrow P_p$), en 6% de los municipios; y 8) Días más calientes y noches más frías con

menos lluvia (↑Tx, ↓Tn, ↓Pp) en 6% de los municipios.

Cve	Cve	Muni cip ios	Prom	Pp tot	Prom	Tend	Tend Pp	Tend
Regi ón	Mpi o		Tx °C	(mm)	Tn °C	prom Tx	tot	prom Tn
1	6	Ca to rce	29.8	2358	2.8	-13.24	-13.1	-0.24
1	7	Ce dra l	32.6	4884	2.6	0.12	2.15	0.25
1	15	Charcas	29.3	6409	5	-0.04	15.42	0.37
1	17	Gu ad alcázar	29.4	7784	5.9	0.17	-36.63	0.33
1	20	Mate hu ala	31.6	4612	5.9	-0.44	6.29	-0.12
1	22	Mo cte zu ma	34.3	4150	4	-0.1	13.48	-0.17
1	25	Salin as	29.3	5641	2.9	0.01	7.83	0.12
1	33	San to Do mi ngo	31.9	6079	2.5	0.54	-7.96	-0.44
1	44	Van e gas	33.9	3068	2.7	-0.25	11.02	-0.08
1	45	Ve na do	31.1	4586	3.3	-0.19	7.98	0.02
1	47	Villa de Gu ad alu pe	32.9	4577	7.3	-0.12	-15.41	-0.15
1	48	Villa de la Paz	31.4	4833	6	-0.11	13.64	-0.26
1	49	Villa de Ra mo s	32	4140	8.7	-0.48	6.44	0.17
1	51	Villa Hid algo	33.2	3883	4.5	0.07	10.51	0.22
1	56	Villa de Aris ta	33.5	5854	5.1	0.23	20.72	0.01
2	1	Ahua l u l co	31.2	4895	7.8	-0.09	6.26	-0.24
2	4	Armad illo de los In fan te	32.5	9333	6.2	0.02	-4.62	0.06
2	9	Ce rro de Sa n Pe dro						
2	21	Me xqui tic de Ca rmona	31.2	4895	7.8	0.12	1.22	-0.05
2	28	San Lu is Potos í	30.9	5609	3.5	0.12	1.22	-0.05
2	32	San ta María de l Río	30.6	6202	8	-0.33	-2.88	0.36
2	35	So le da d de Gra cia no Sá nche z	31.6	4612	5.9	-0.44	6.29	-0.12
2	43	Tie rra Nu e va	32.3	5742	4.8	0.06	-9.13	-0.18
2	46	Villa de Arriaga	34.8	4722	6.9	-0.54	-6.41	0.46
2	50	Villa de Re ye s	31.4	5520	7	-0.06	-5.63	0.06
2	55	Zarago za	32.4	5072	4	0.15	12.64	0.14
3	2	Al a qui ne s	29	12652	1.8	0.1	9.35	-0.05
3	5	Cárde na s	32.9	9135	9.9	0.08	19.49	0.19
3	8	Cerri to s	32.8	9262	8.5	0.46	8.43	-0.27
3	10	Ciuda d de l Ma íz	34.5	7267	4.2	-0.23	-8.51	0.19
3	11	Ciuda d Fe rná nde z	36	8006	9.9	0.06	21.84	0
3	19	Lagu ni llas	34.2	9329	9.9	0.17	12.32	-0.07
3	23	Ra y ó n						
3	24	Ri o ve rd e	36	8006	9.9	0.06	21.84	0
3	27	San Ci ro de Aco ta	37.5	8397	11.1	0.09	23.01	-0.14
3	30	San Nico lás To le n tin o	32.5	9333	6.2	0.02	-4.62	0.06
3	31	San ta Cata rí na	37.3	13103	11	0.02	15.17	-0.11
3	52	Villa Ju áre z	34.9	11088	5.6	0.17	-2.42	0.05
4	3	Aqui sm ó n	37.8	30437	15	0.1	21.13	-0.01
4	12	Ta nca nhui tz	39.3	25536	14.4	-0.02	0.06	-0.01
4	13	Ciuda d Valle s	38.1	18264	13.6	-0.08	33.34	-0.09
4	14	Co xcatlán						
4	16	Eba no	36.7	11169	14.9	-0.21	29	0.08
4	18	Hue hue Tlá n	36.5	30417	12.8	0.1	11.59	0.1
4	26	San Anto ní o	43.6	21677	6.3	-0.03	15.13	-0.3
4	29	San Martín Chalchicuautla	33.8	20121	12.7	0.2	94.43	0.18
4	34	San Vicente Tancuayalab	37	15288	15.1	-0.08	26.48	0.02
4	36	Tamas o po	35.5	25365	12.5	-0.21	25.53	-0.31
4	37	Tamaz n ch ale	35.8	26146	14.5	0.03	32.45	-0.05
4	38	Tamp acán						
4	39	Tampamolón Corona	36.2	20730	15.9	-11.43	-11.25	-0.28
4	40	Ta mu ín	38.4	10604	14.3	0.04	70.31	-0.09
4	41	Tanla jás	43.6	21677	6.3	-0.03	15.13	-0.3
4	42	Tanquián de Escobedo	37.2	16631	15.1	0.19	38.77	0.2
4	53	Axtlá de Te rrazas	35.3	28092	13.8	-0.05	17.03	0.12
4	54	Xilitla	34.6	136859	8.4	0.07	137.5	0.02
4	57	Matlapa	38.2	7167	14.4	0.02	52.29	0.02
4	58	El Naranjo	36.4	14990	10.8	0.14	-11.26	-0.47

Tabla 6.6 Resultados de las tendencias de la temperatura máxima promedio (Tx), temperatura mínima promedio (Tn) y precipitación total (Pp) por municipios y regiones, en el periodo de 1996 a 2010, en el estado de San Luis Potosí.

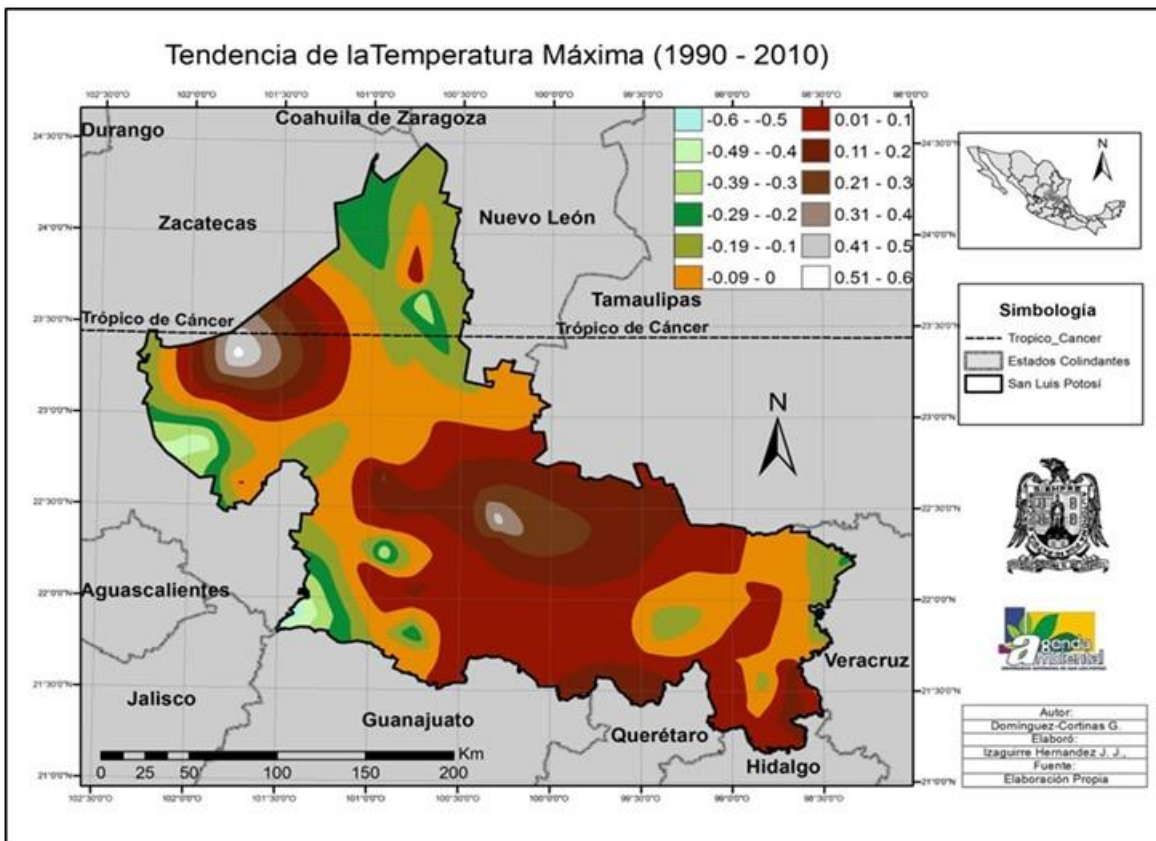
Tabla 6.7 Patrones climáticos identificados por regiones, San Luis Potosí considerando las tendencias positivas y negativas de las variables climáticas evaluadas (Tx, Tn, Pp).

Región	Cve Región	% Tend pos Tx	% Tend neg Tx	% Tend pos Pp	% Tend neg Pp	% Tend pos Tn	% Tend neg Tn
ALTIPLANO	1	20%	38%	28%	29%	30%	26%
CENTRO	2	17%	21%	13%	36%	18%	18%
MEDIA	3	33%	4%	20%	21%	22%	18%
HUASTECA	4	30%	38%	40%	14%	30%	37%
día s y noche s más calientes más lluviosos	13/54 mpi os 24%	día s y noche s má s fríos me nos lluviosos	3/54 mpi os 6%	día s y noche s más calientes me nos lluviosos	4/54 mpi os 7%	día s y noche s má s fríos más lluviosos	11/54 mpi os 20%
ALTIPLANO	4	ALTIPLANO	2	ALTIPLANO	1	ALTIPLANO	4
CENTRO	1	CENTRO	0	CENTRO	1	CENTRO	2
MEDIA	3	MEDIA	0	MEDIA	2	MEDIA	0
HUASTECA	5	HUASTECA	1	HUASTECA	0	HUASTECA	5
día s más calientes noche s más frías más lluviosos	10/54 mpi os 19%	día s más caliente s noche s má s frías me nos lluviosos	3/54 mpi os 6%	día s más fríos noche s más calientes más lluviosos	6/54 mpi os 11%	día s más fríos noche s más calientes me nos lluviosos	4/54 mpi os 7%
ALTIPLANO	0	ALTIPLANO	1	ALTIPLANO	3	ALTIPLANO	0
CENTRO	2	CENTRO	1	CENTRO	0	CENTRO	3
MEDIA	5	MEDIA	0	MEDIA	0	MEDIA	1
HUASTECA	3	HUASTECA	1	HUASTECA	3	HUASTECA	0

En el análisis realizado por municipio de las tendencias de los promedios de las temperaturas máximas en el periodo de 1996 a 2010, se logró identificar un patrón de distribución espacial que muestra una tendencia al aumento de la temperatura máxima en dos regiones del Estado, correspondiendo las tendencias positivas más altas (mayor número de días más cálidos) a los municipios de Santo Domingo (m=0,54) y Cerritos (m=0,46), ubicados en las regiones Altiplano y zona Media respectivamente. De manera contraria, se identificaron zonas en las cuales la temperatura máxima muestra una tendencia importante a su disminución (mayor número de días menos cálidos), siendo los municipios con las tendencias más negativas, Villa de Ramos (m=-0,54) y Vanegas (m=-0,48) de la región Altiplano, así como Matehuala (m=-0,44) y Soledad de Graciano Sánchez (m=-0,44) ambos de la zona Centro (Figura 3, Mapa 1).



Figura 6.5 Tendencias de la temperatura máxima promedio de 1996 a 2010 en el estado de San Luis Potosí.



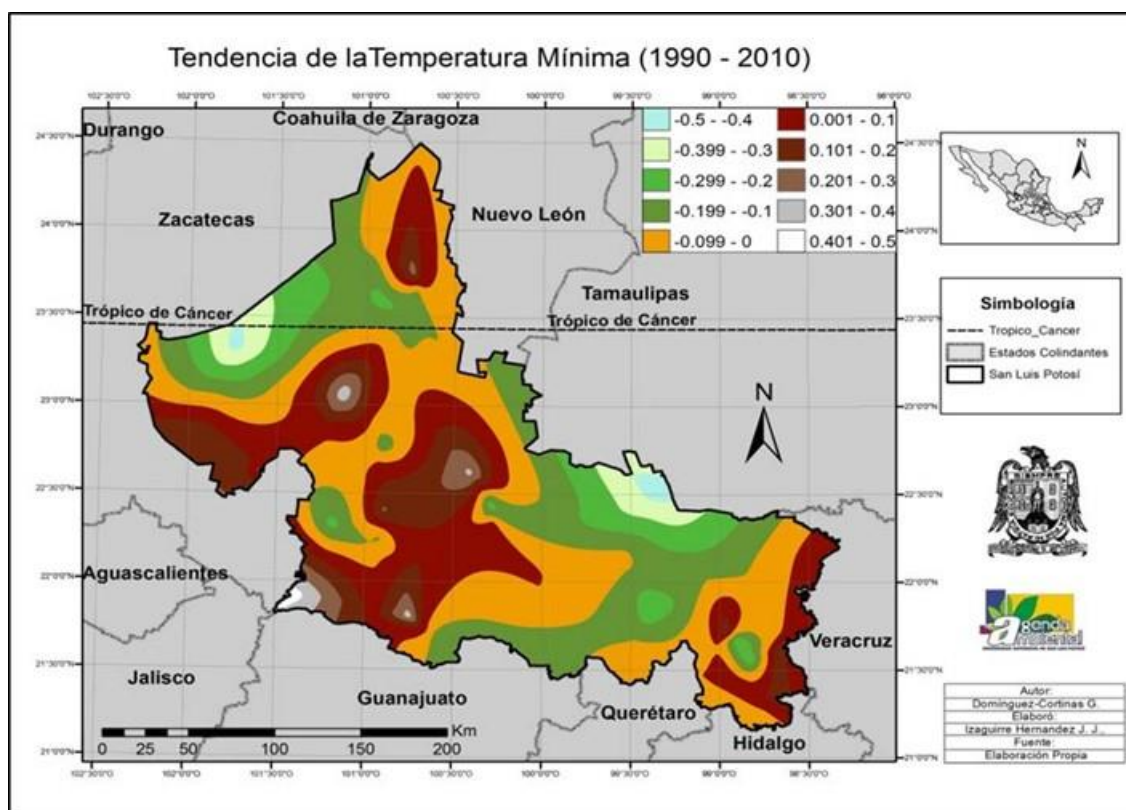
Mapa 6.10 Tendencias de la temperatura máxima promedio en el estado de San Luis Potosí de 1996 a 2010.

Los resultados de las tendencias de la temperatura mínima promedio en los 15 años de análisis, mostraron las mayores tendencias positivas (mayor número de noches más cálidas) en los municipios de Villa de Arriaga ($m=0,46$) y Santa María del Río ($m=0,36$) de la zona Centro, así como de Charcas ($m=0,37$), y Guadalcázar ($m=0,33$) de la región

Altiplano; mientras que los municipios que mostraron las mayores tendencias negativas (mayor número de noches más frías) fueron, El Naranjo ($m=-0,47$), Tamasopo ($m=-0,31$) y Tanlajás ($m=-0,30$) de la región Huasteca, y Santo Domingo ($m=-0,44$) de la región Altiplano (Figura 4, Mapa 2).



Figura 6.6 Tendencias de la temperatura mínima promedio de 1996 a 2010 en el estado de San Luis Potosí.

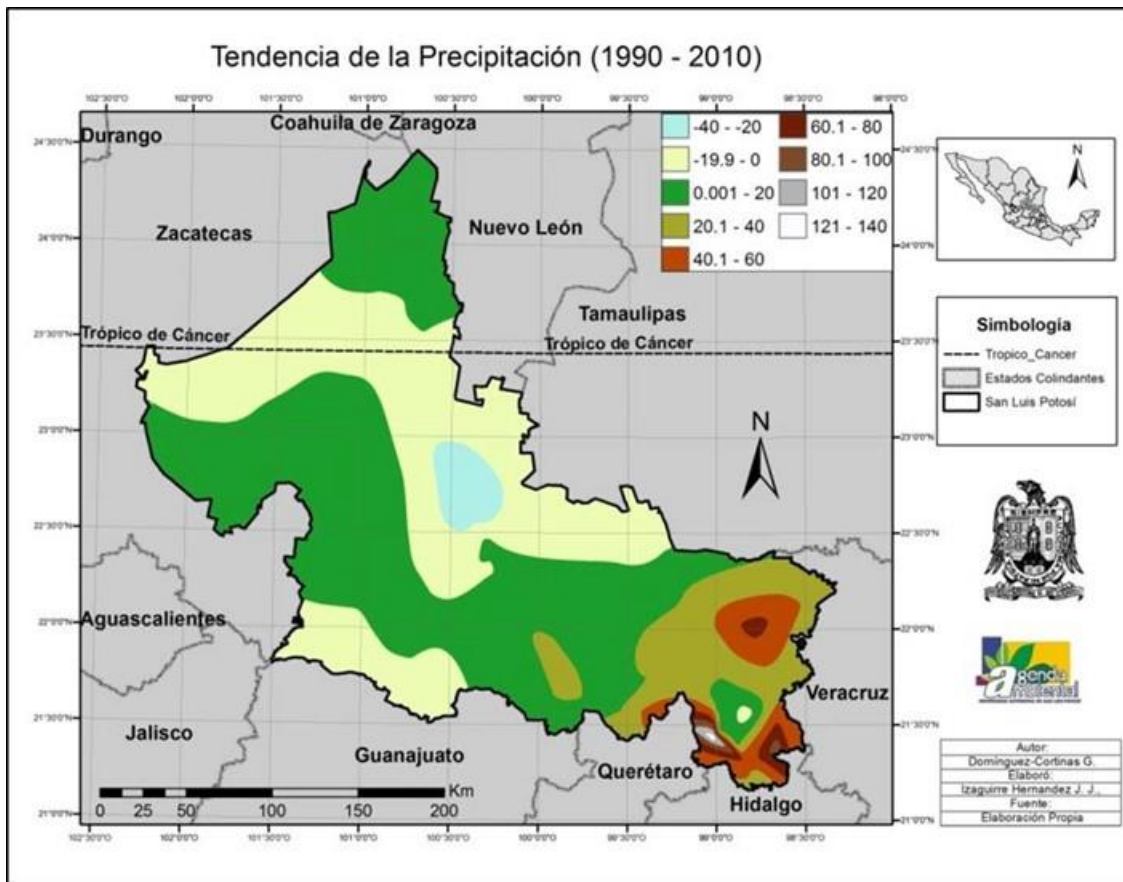


Mapa 6.11 Tendencias de la temperatura mínima promedio en el estado de San Luis Potosí de 1996 a 2010.

Respecto a las tendencias de la precipitación total identificadas en el estado de San Luis Potosí de 1996 a 2010, fueron tres municipios de la región Altiplano, Guadalcázar (m=-36,6), Villa de Guadalupe (m=-15,4) y Catorce (m=-13,1), así como dos municipios de la región Huasteca, El Naranjo (m=-11,3) y Tampamolón Corona (m=-11,2), los que presentaron las tendencias de precipitación a la baja, más importantes (tendencias negativas), mientras que siete municipios de la Huasteca potosina correspondientes a Tamazunchale (m=32,4), Ciudad Valles (m=33,3), Tanquián de Escobedo (m=38,8), Matlapa (m=52,3), Tamuín (m=70,3), San Martín Chalchicuautla (m=94,4) y Xilitla (m=137,5), mostraron las tendencias al aumento de la precipitación más marcadas (Mapa 6.11). Estos resultados muestran que en el municipio de Guadalcázar la precipitación viene disminuyendo más que en ninguna otra parte del Estado, mientras que en el municipio de Xilitla la precipitación viene aumentando más que en el resto de la entidad (Figura 6.7 Mapa 6.12).



Figura 6.7 Tendencias de la precipitación total por municipio en el estado de San Luis Potosí de 1996 a 2010.



Mapa 6.12 Tendencias de la precipitación total en el estado de San Luis Potosí de 1996 a 2011.

6.4.6 Mortalidad por golpes de calor.

Respecto a la información de muertes atribuibles a golpes de calor en el estado de San Luis Potosí, es importante mencionar que dentro de los datos referentes a las principales causas de mortalidad proporcionadas por los Servicios de Salud del estado de San Luis Potosí, no apareció absolutamente ningún registro, por lo que no fue posible realizar este análisis. Únicamente se logró conseguir escasa información proporcionada por la COFEPRIS y analizada por Galván, L. (2013), que muestra un registro de 385 muertes por golpe de calor en todo el Estado, con un índice de calor identificado de 41-45°C durante el periodo de 1998 a 2010. El mayor número de muertes se presentó en los años de 1998 y 2003, siendo los municipios más afectados, Ciudad Valles y Tamuín (Figura 6.8).

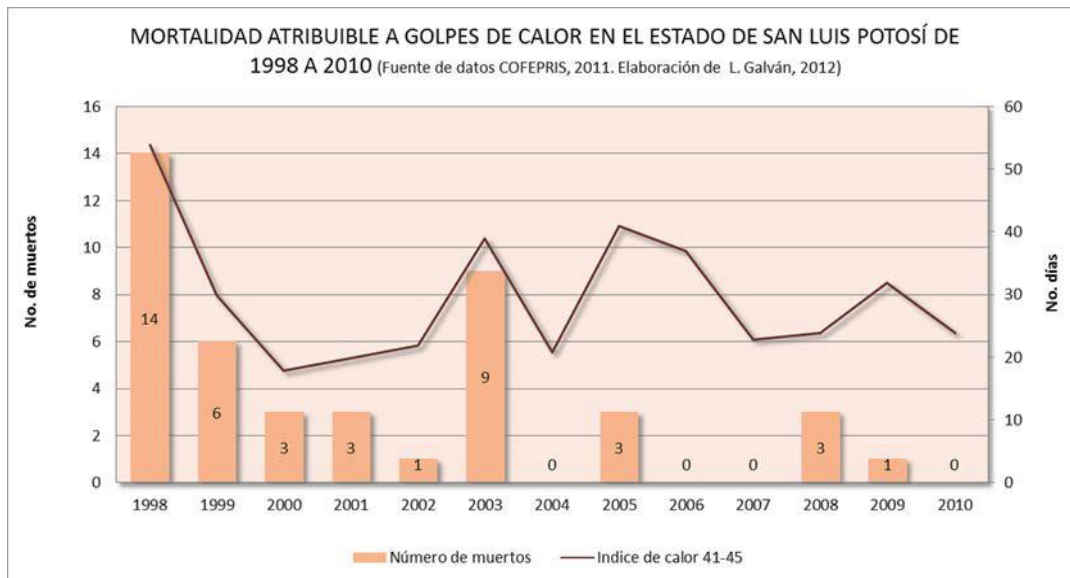


Figura 6.8 Mortalidad por golpe de calor en el estado de San Luis Potosí en el periodo de 1998 a 2010.

Por otro lado, un grupo de investigación del Colegio de Geografía de la UNAM a cargo de la M. en C. Ma. De la Paz Medina-Barrios, analizó los datos del 2012 de un observatorio ubicado en el municipio de Rioverde (Observatorio 35, Rioverde, SLP), identificando los índices de calor (IC) más elevados en mayo (IC=44°C) y junio (IC=42°C), siendo estos los meses del más alto riesgo por golpe de calor en la población expuesta. Los meses de marzo (IC=33°C), abril (IC=38°C), julio (IC=37°C), agosto (IC=38°C) y septiembre (IC=36°C), con índices de calor ligeramente más bajos, representaron un alto riesgo por insolación, calambres musculares y agotamiento, mientras que los meses de febrero, octubre y noviembre mostraron los índices de calor más bajos (IC=28°C, 31°C, 28°C respectivamente), con un riesgo moderado por fatiga. Solamente los meses de enero y diciembre presentaron temperaturas por debajo del umbral de riesgos a la salud (< 27°C) (Figura 7).

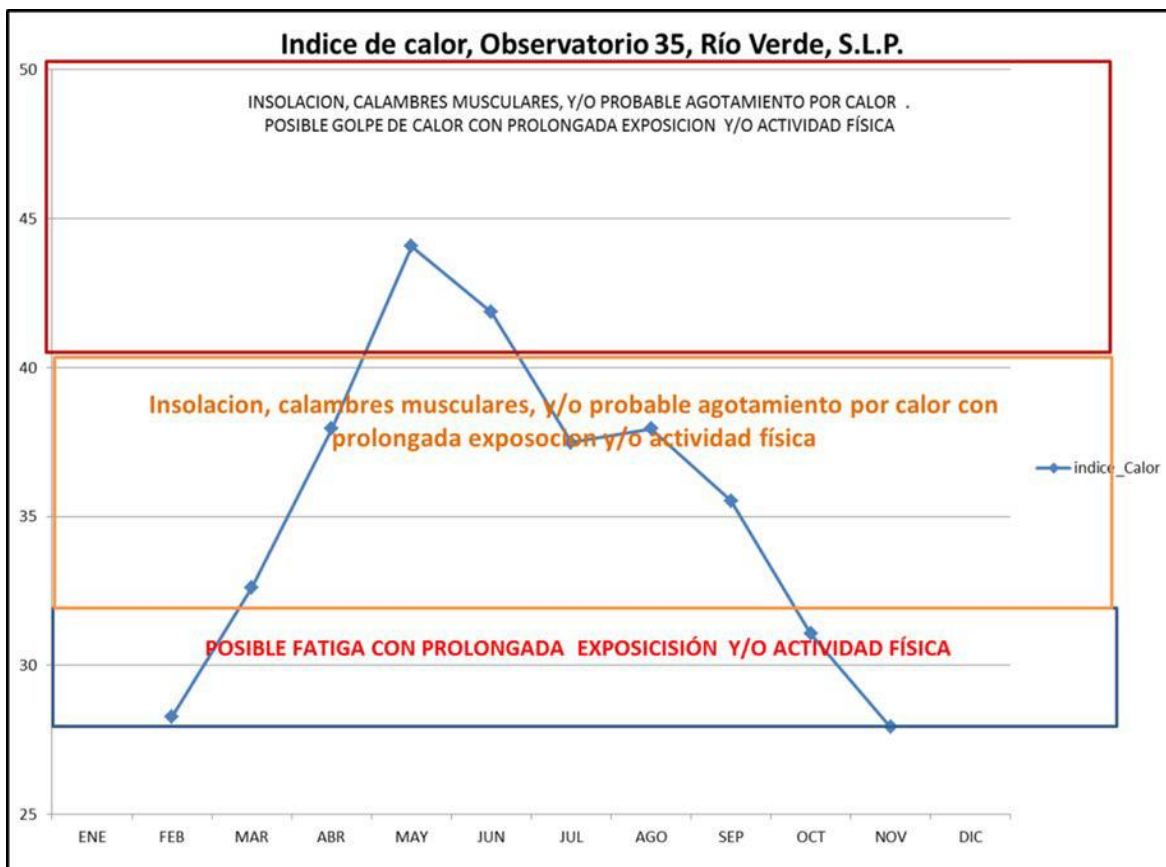


Figura 6.9 Índices de calor del 2012 obtenidos del Observatorio 35 de Rioverde, SLP. (Cortesía de MC. Medina-Barrios M., P., UNAM, enero 2013).

6.4.7 Mortalidad por enfermedades asociadas al clima.

Las causas de mortalidad analizadas en este trabajo, dada su relación directa o indirecta con los fenómenos climáticos, fueron, anemia, ascariasis, asma, desnutrición calórica, enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC), infecciones intestinales, infecciones respiratorias agudas de las vías altas y bajas, meningitis, tuberculosis, tos ferina, dengue, paludismo y leishmaniosis.

Cabe mencionar que en todo el periodo de estudio (1996 a 2011) no se reportó ninguna muerte por paludismo en el Estado por lo que dicha causa de mortalidad no fue analizada. De igual manera, otras de las enfermedades evaluadas en los mismos años, mostraron tasas de mortalidad sumamente bajas, siendo éste el caso del dengue, que presentó una tasa de mortalidad de 3,44/100 000 hab., equivalente a un total de cinco muertes registradas en el municipio de Ciudad Valles en 1998, así como de la Leishmaniosis (tasa de mortalidad de 0,13/100 000 hab.), de la cual solo fue registrada una muerte en el municipio de San Luis Potosí en 2008.

Con respecto a la tos ferina, se registraron cuatro muertes en total durante todo el periodo de estudio. Dichos casos se presentaron en los municipios de Armadillo de los Infantes (1 muerte en 1997) y San Luis Potosí (una muerte en los años 1996, 1999 y 2004), mostrando tasas de mortalidad de 18,9/100 000 hab., y 0,15/100 000 hab., respectivamente.

La mortalidad por ascariasis, solo fue identificada en ocho municipios del Estado (5 de la región Huasteca y uno de la zona Centro), siendo San Vicente Tancuayaláb, Aquismón y Tamasopo los que presentaron las mayores tasas de mortalidad acumulada (14,0 12,0 y 11,0/100 000 hab., respectivamente), seguidos por Xilitla (8,0/100 000 hab.), Axtla de Terrazas (6,0/100 000 hab.), Ciudad Valles (4,5/100 000 hab.) y Tamazunchale (5,0/100 000 hab.). Los años en los que hubo un mayor número de muertes por ascariasis a nivel estatal fueron, 1997, 1998 y 1999. El municipio de San Luis Potosí presentó un solo caso de muerte por esta enfermedad en 1996 con una tasa de mortalidad de 0,16/100 000 hab.

Una de las principales causas de mortalidad identificadas en el Estado durante los 15 años de estudio dada su alta tasa acumulada fue, la enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC) (22,2/100 000 hab.), la cual mostró una tendencia general a la alza ($m=0,546$; $R^2=0,6909$), con un 86% de municipios de la entidad con tendencias positivas para esta causa de muerte (Figura 6.10 Mapa 6.13).

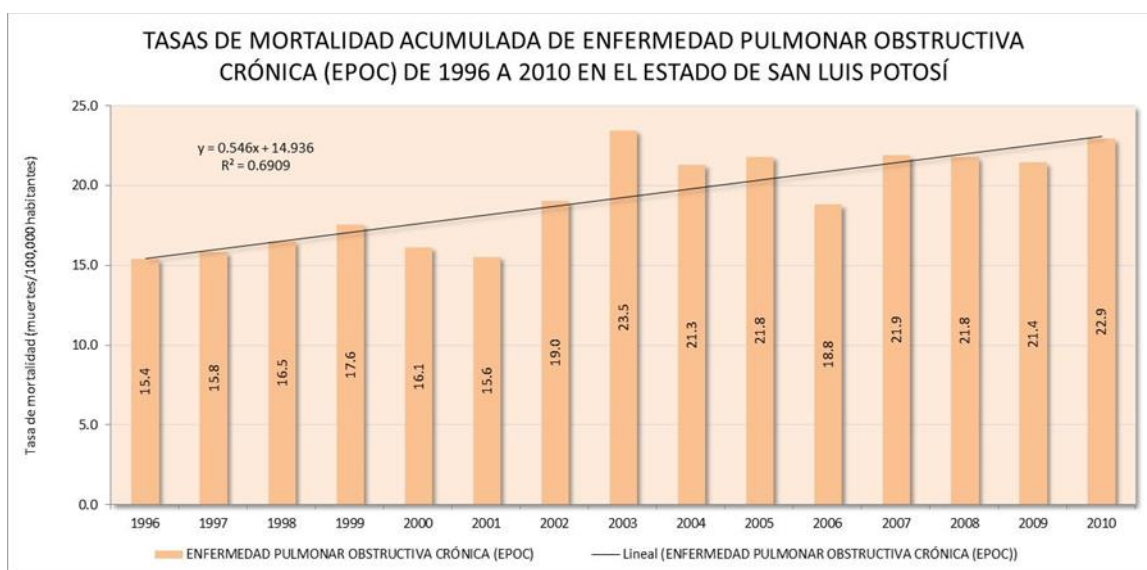
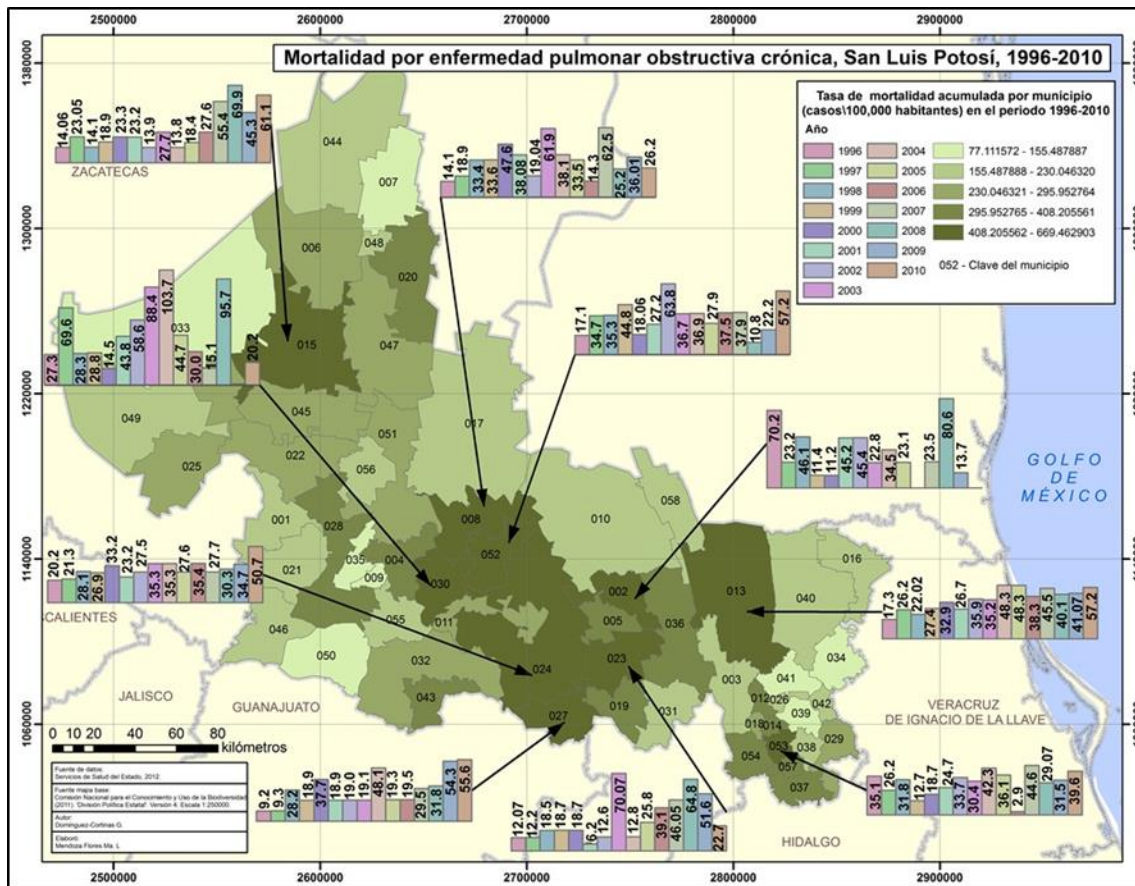


Figura 6.10 Tasas de mortalidad acumulada por EPOC en el periodo de 1996 a 2010 en el estado de San Luis Potosí.



Mapa 6.13 Distribución de la mortalidad por EPOC en el estado de San Luis Potosí en el periodo de 1996 a 2010.

Los municipios que presentaron las mayores tasas de mortalidad acumulada por EPOC durante el periodo de estudio fueron, San Nicolás Tolentino (52,8/100 000 hab.), Ciudad Valles (40,8/100 000 hab.), Villa Juárez (38,7/100 000 hab.) y Cerritos (38,2/100 000 hab.); mientras que los municipios que acumularon las menores tasas de mortalidad fueron, Soledad de Graciano Sánchez (5,8/100 000 hab.) y Cerro de San Pedro (6,3/100 000 hab.) (Figura 6.11).

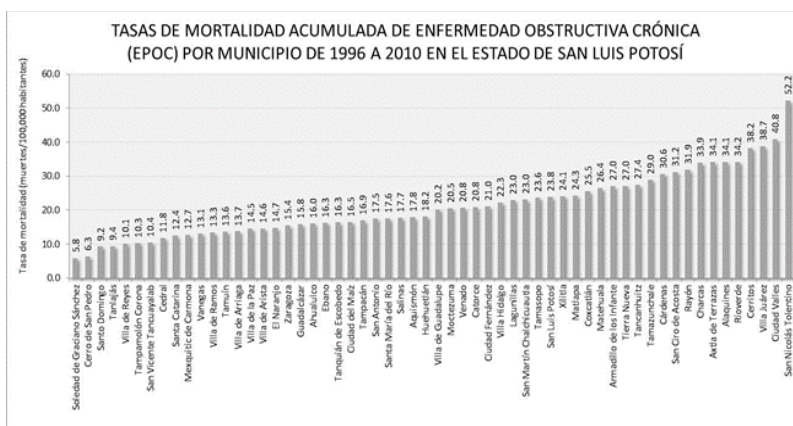


Figura 6.11 Tasas de mortalidad acumulada de EPOC por municipio durante el periodo de 1996 a 2010, en el estado de San Luis Potosí.

Los resultados arrojados por el análisis de las tendencias de la mortalidad por EPOC en los 15 años evaluados, mostraron que el 86% de los municipios del Estado tuvieron tendencias al aumento de muertes por esta enfermedad, siendo los que presentaron las tendencias positivas más altas, Catorce (m=3,26), Charcas (m=3,18), Rayón (m=2,69) y San Ciro de Acosta (m=2,25). Asimismo se identificó a un 14% de municipios con tendencias a la baja, tales como Alaquines (m=-1,49), Moctezuma (m=-0,52), Zaragoza (m=-0,35), San Nicolás Tolentino (m=-0,33) y Tamasopo (m=0,30) (Figura 6.12).

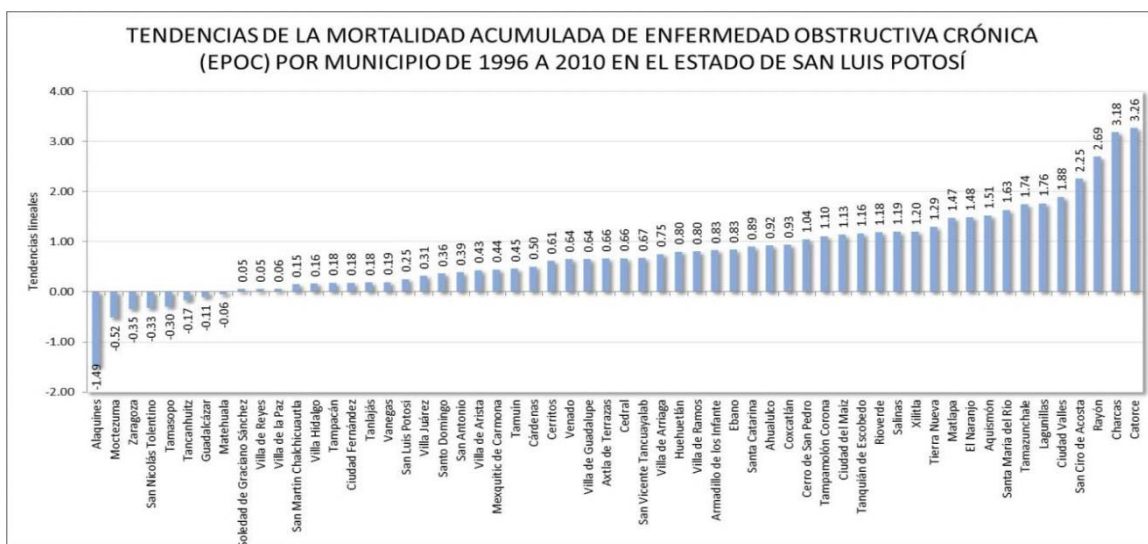
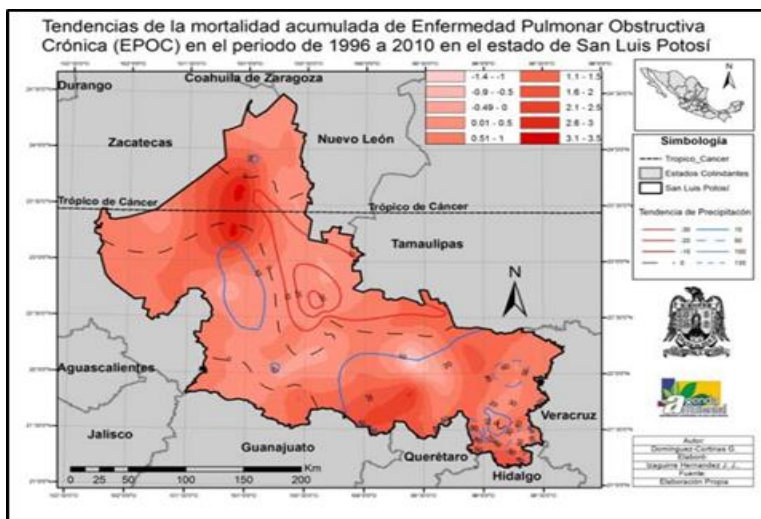


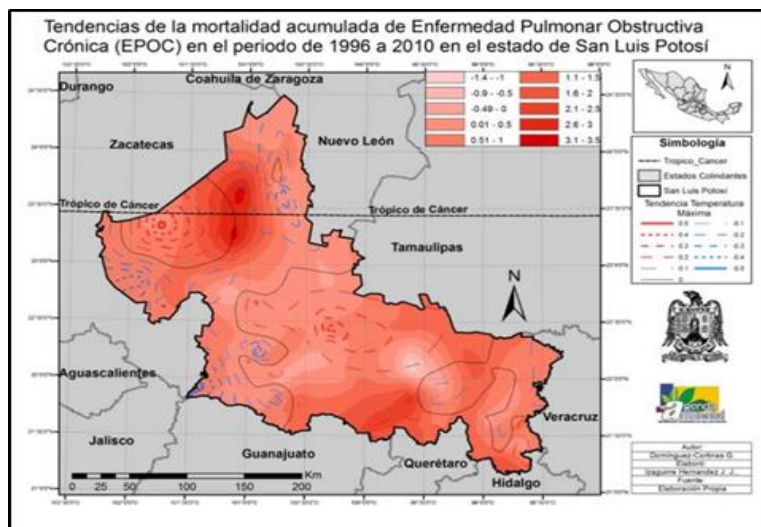
Figura 6.12 Tendencias de la mortalidad acumulada de asma por municipio en el periodo de 1996 a 2010 en el estado de San Luis Potosí.

La EPOC tiene su origen en un amplio conjunto de factores, sin embargo, los de tipo ambiental juegan un importante papel en el desarrollo de la enfermedad. Tal es el caso del aire contaminado por sustancias químicas, gases y/o polvos, así como de los climas fríos, con altos niveles de sequedad o bien, extremosos. De acuerdo a esto, la superposición de los municipios con tendencias positivas de muerte por EPOC, con aquellos que mostraron patrones climáticos tendientes al aumento de los días y/o noches más fríos, con aumento y/o disminución de la precipitación, arrojó resultados que muestran que en un 44% de los municipios que tuvieron tendencia al aumento de la mortalidad por EPOC, también presentaron condiciones climáticas de alto riesgo para el desarrollo de la enfermedad (Mapas 6.14, 6.15 y 6.16).

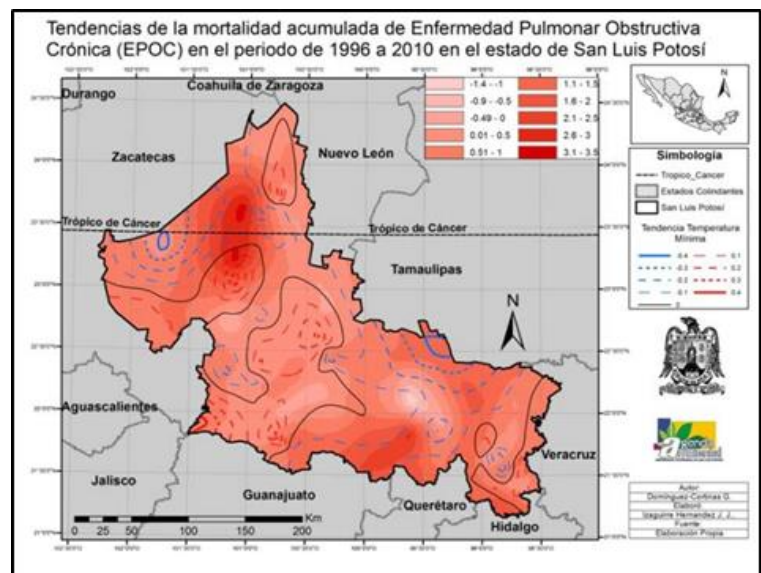
Las correlaciones de Spearman del conjunto de datos climáticos y de mortalidad por EPOC no resultaron estadísticamente significativas.



Mapa 6.14 Tendencias de la mortalidad por EPOC vs tendencias de la precipitación total durante el periodo de 1996 a 2010 en el estado de San Luis Potosí.



Mapa 6.15 Tendencias de la mortalidad por EPOC vs tendencias de la temperatura máxima promedio durante el periodo de 1996 a 2010 en el estado de San Luis Potosí.



Mapa 6.16 Tendencias de la mortalidad por EPOC vs tendencias de la temperatura mínima promedio durante el periodo de 1996 a 2010 en el estado de San Luis Potosí.

La segunda causa de muerte evaluada con mayor número de casos en el Estado, fue la anemia, con un 48% de municipios afectados. En este sentido, el análisis de las tasas de mortalidad acumulada de 1996 a 2010, mostró una tendencia general a la baja ($m=-0,0618$; $R^2=0,3009$), dejando ver una reducción importante de muertes entre 1999 y 2007, así como un repunte de las mismas en 2008 y 2010. Los años con el mayor número de muertes acumuladas por la enfermedad a nivel estatal fueron, 1998 (4,87/100 000 hab.), 2008 (3,74/100 000 hab.) y 2010 (3,48/100 000 hab.) (Figura 6.13).

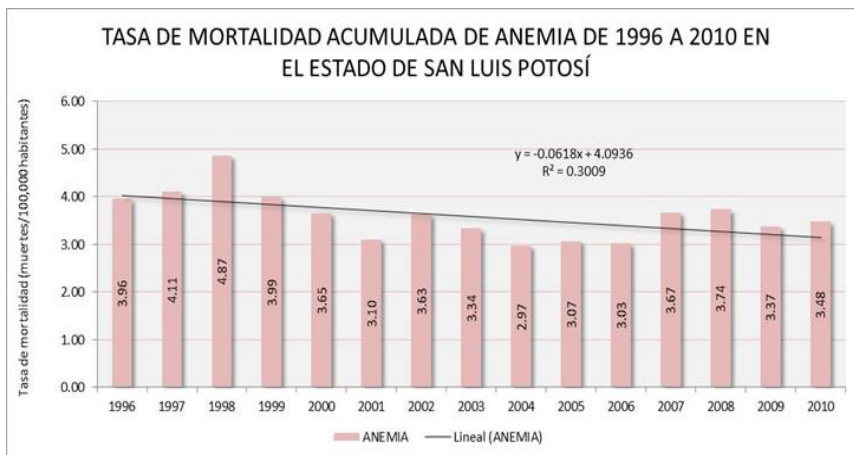
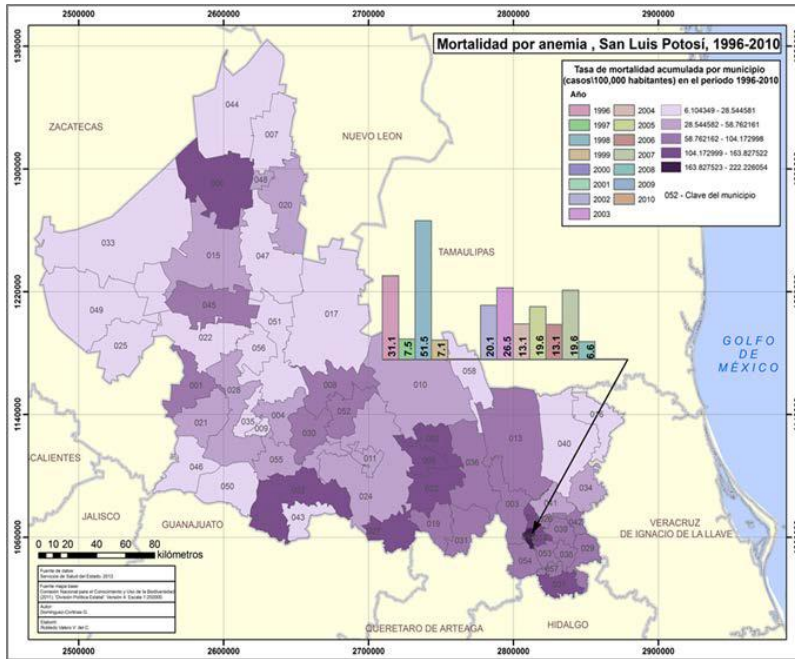


Figura 6.13 Tasas de mortalidad acumulada por anemia en el estado de San Luis Potosí.

Según la distribución espacial de las muertes por anemia ocurridas en los diferentes municipios (Mapa 6.17), se identificó al municipio de Huehuetlán con la mayor tasa de mortalidad acumulada (16,6/100 000 hab.) de todo el Estado en el periodo de análisis (1996 al 2010), siendo los años con más muertes por anemia para dicho municipio, 1996 (31,1/100 000 hab.), 1998 (51,5/100 000 hab.) y 2003 (26,6/100 000 hab.).

Después de Huehuetlán, los municipios de Alaquines (11,1/100 000 hab.), Tancanhuitz (10,8/100 000 hab.), Coxcatlán (10,4/100 000 hab.), Cárdenas (10,1/100 000 hab.) San Cirio de Acosta (9,6/100 000 hab.), Santa María del Río (9,3/100 000 hab.), Tamazunchale (9,1/100 000 hab.), presentaron las tasas de mortalidad acumulada por anemia, más altas del Estado. De manera contraria, el municipio de Soledad de Graciano Sánchez, mostró la tasa de mortalidad acumulada por anemia más baja de toda la entidad (0,4/100 000 hab.), en los 15 años de estudio (Figura 6.14).



Mapa 6.17 Distribución de la mortalidad por anemia en el estado de San Luis Potosí en el periodo de 1996 a 2010.

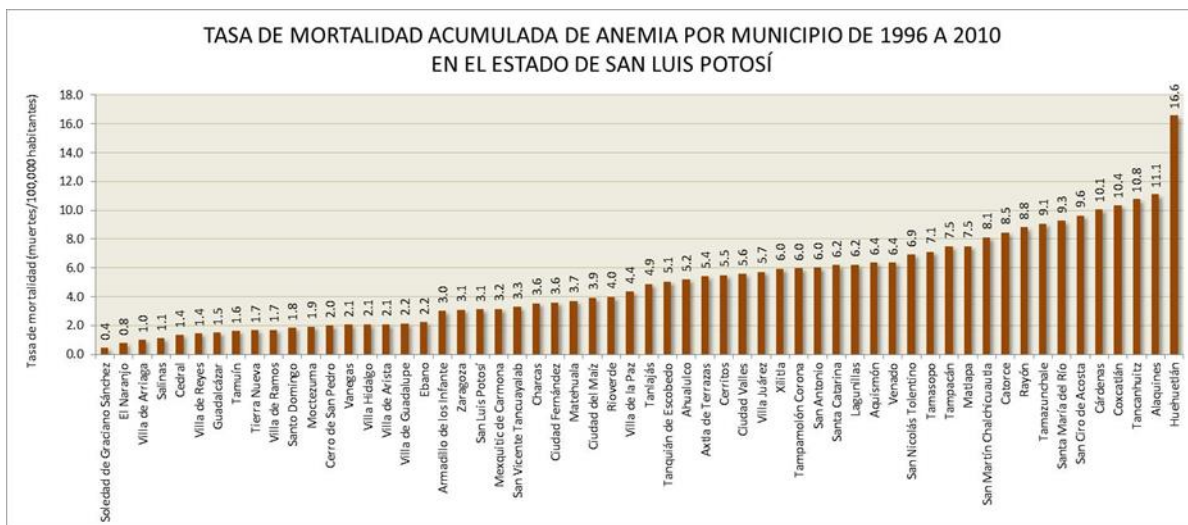


Figura 6.14 Tasas de mortalidad acumulada de anemia por municipio en el periodo de 1996 a 2010 en el estado de San Luis Potosí.

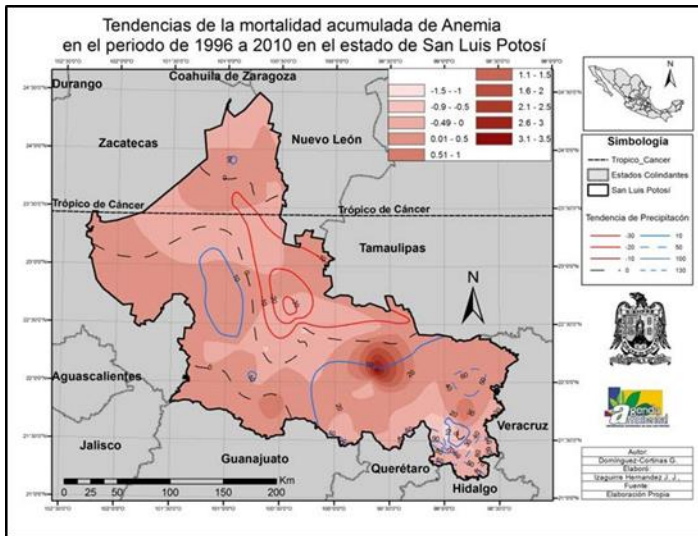
No obstante lo anterior, resulta interesante resaltar que a pesar de que Huehuatlán acumuló el mayor número de muertes por anemia en los 15 años evaluados, también mostró la mayor tendencia a la baja de las tasas mortalidad ($m=-1,22$) de todo el Estado. En situación similar se identificaron los municipios de Tancanhuitz y Coxcatlán, mismo

que a pesar de haber acumulado altas tasas de mortalidad en el periodo de estudio, también mostraron tendencias importantes a la baja. En el caso contrario, identificamos al municipio de Alaquines que no solo acumuló el segundo mayor número de muertes por anemia en la entidad, sino que también resultó el municipio con la mayor tendencia (m=3,49) al incremento de muertes por dicha enfermedad (Figura 6.15).

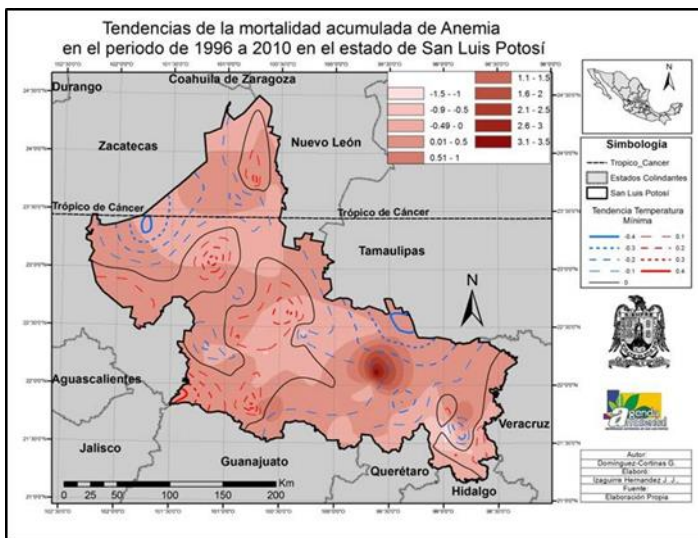


Figura 6.15 Tendencias de la mortalidad acumulada de anemia por municipio en el periodo de 1996 a 2010 en el estado de San Luis Potosí.

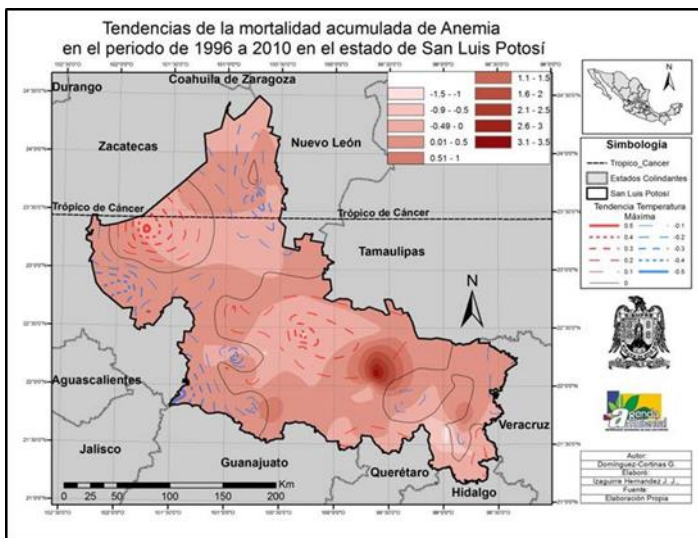
Incorporando a la información anterior las tendencias climáticas identificadas, fue posible detectar algunos indicios respecto a una posible relación entre las tendencias de los promedios de la temperatura máxima, temperatura mínima y precipitación total, con las tendencias que muestra la mortalidad por anemia en los municipios más afectados. De acuerdo a esto, el 71% de los municipios con tendencias de mortalidad positivas, también mostraron condiciones climáticas de alto riesgo para el desarrollo de la enfermedad, tales como el aumento de los días y noches calientes (aumento de la temperatura máxima y mínima), así como el aumento y/o disminución de la precipitación. Dichas condiciones climáticas pudieran tener un impacto negativo en la disponibilidad de alimentos en cantidad y calidad adecuados para satisfacer los requerimientos nutricionales de la población (Mapas 6.18, 6.19 y 6.20). Los coeficientes de correlación de Spearman para el conjunto de datos climáticos y de mortalidad resultaron estadísticamente significativos para temperatura máxima, mínima y precipitación (Spearman=Tx=0,269*; Pp=0,506**; Tn=0,334*; p=0,049; 0,000; 0,014).



Mapa 6.18 Tendencias de la mortalidad por anemia vs tendencias de la precipitación total durante el periodo de 1996 a 2010 en el estado de San Luis Potosí.



Mapa 6.19 Tendencias de la mortalidad por anemia vs tendencias de la temperatura máxima promedio durante el periodo de 1996 a 2010 en el estado de San Luis Potosí.



Mapa 6.20 Tendencias de la mortalidad por anemia vs tendencias de la temperatura mínima promedio durante el periodo de 1996 a 2010 en el estado de San Luis Potosí.

Respecto a la mortalidad acumulada por asma en el estado de San Luis Potosí, se identificó una tendencia a la baja ($m=-0,111$; $R^2=0,7606$), siendo los años que

presentaron las mayores tasas de mortalidad, 1996 (2,9/100 000 hab.), 1997 (3,3/100 000 hab.) y 2000 (2,8/100 000 hab.) (Figura 6.16).

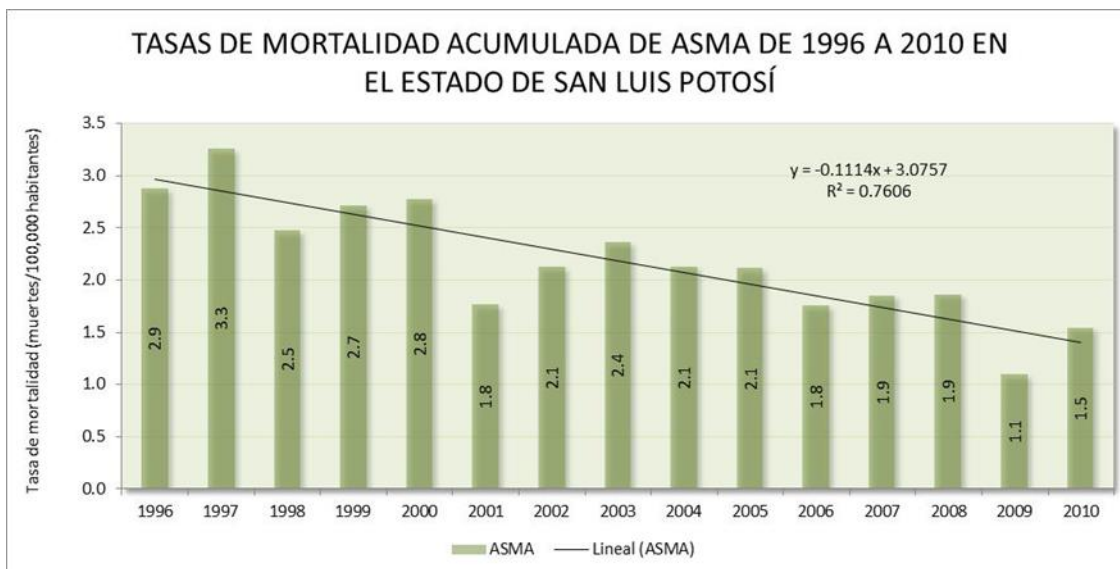
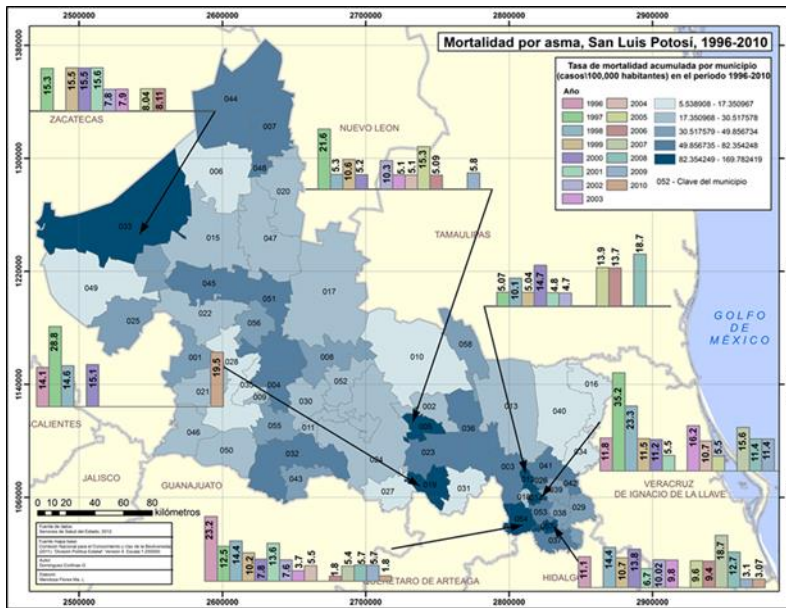


Figura 6.16 Tasas de mortalidad acumulada por asma en el periodo de 1996 a 2010 en el estado de San Luis Potosí.

De acuerdo a la distribución espacial de la mortalidad por asma en la entidad, los municipios con las tasas de mortalidad más elevadas, fueron Coxcatlán (12,9/100 000 hab.), Matlapa (10,3/100 000 hab.) y Xilitla (8,9/100 000 hab.), mientras que los municipios de Tamuín (6/100 000 hab.), San Ciró de Acosta (9/100 000 hab.), Santa Catarina (9/100 000 hab.) y Catorce (10/100 000 hab.) mostraron las tasas más bajas (Figura 6.17, Mapa 6.21).



Figura 6.17 Tasas de mortalidad de asma por municipio durante el periodo de 1996 a 2010.



Mapa 6.21 Distribución de la mortalidad por asma en el estado de San Luis Potosí en el periodo de 1996 a 2010.

No obstante que la tendencia de la mortalidad por asma se mostró de manera general a la baja con un 64% de municipios con tendencias negativas, hubo municipios que presentaron tendencias positivas tales como, Tampacán ($m=0,57$), Alaquines ($m=0,41$) y Ahualulco ($m=0,40$). Por otro lado, los municipios de Xilitla ($m=-1,07$), Coxcatlán ($m=-1,04$) y Lagunillas ($m=-0,91$) mostraron las tendencias a la disminución de la muerte por asma más importantes del Estado, situación que resulta muy interesante ya que a pesar de haber acumulado el mayor número de muertes durante el periodo de 1996 al 2010, son los municipios que van logrando una mayor reducción de muertes por esta enfermedad (Figura 6.18).

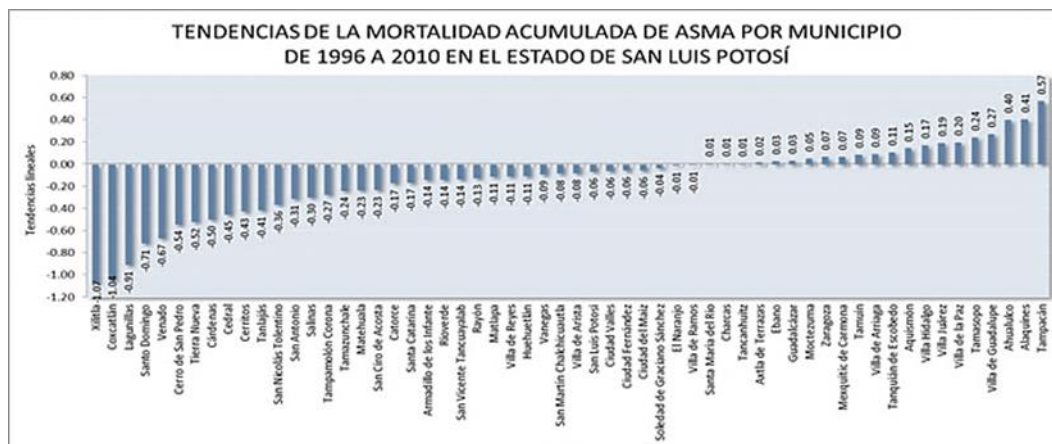
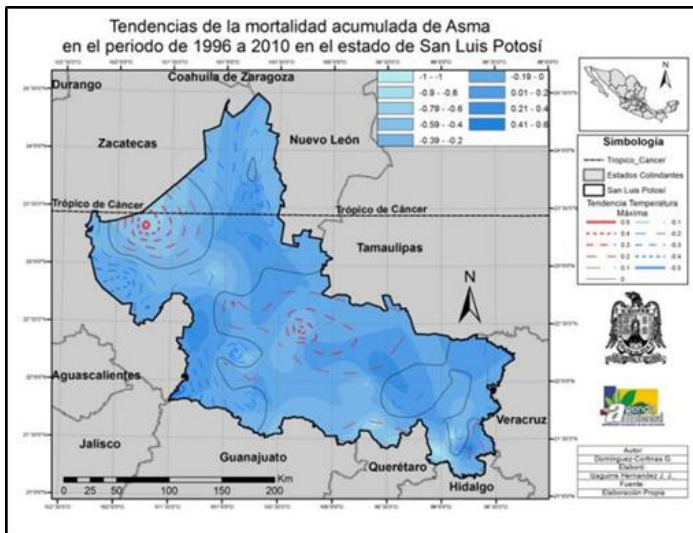


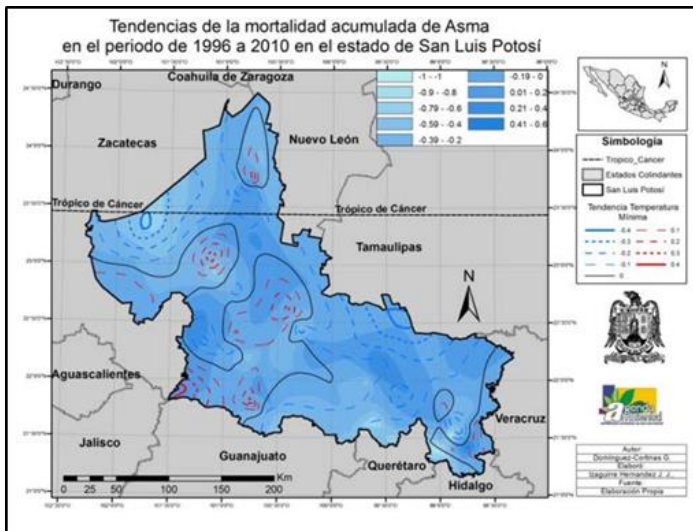
Figura 6.18 Tendencias de la mortalidad acumulada de asma por municipio en el periodo de 1996 a 2010.

El análisis de las tendencias climáticas con las tendencias de las tasas de mortalidad por asma en la entidad, arrojó resultados que mostraron un traslape entre los municipios con tendencias al aumento de muertes por asma y los

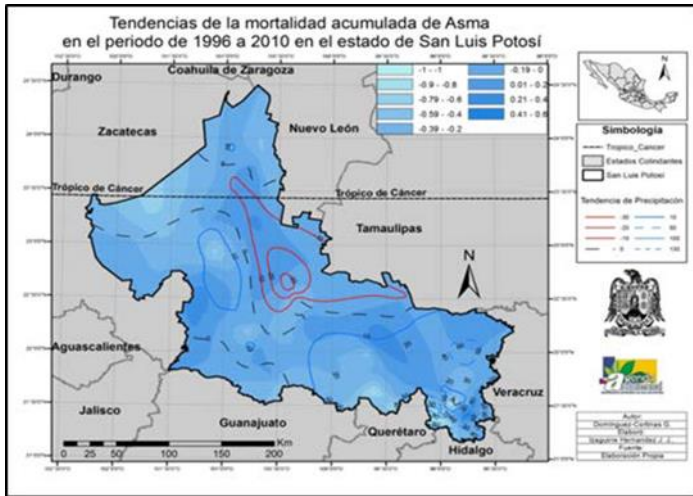
municipios con tendencias al aumento de días y noches más fríos, con aumento y/o disminución de la precipitación, así como municipios con tendencias al aumento de días y noches más calientes con aumento y/o disminución de la precipitación (Mapas 6.22, 6.23 y 6.24). De acuerdo a esto, el 69% de los municipios con tendencias al aumento de la mortalidad por asma en el Estado, mostraron también tendencias climáticas consideradas de alto riesgo para el desarrollo de la enfermedad, sin embargo, no se encontraron significancias estadísticas en las pruebas de correlación realizadas.



Mapa 6.22 Tendencias de la mortalidad por asma vs tendencias de la temperatura máxima promedio durante el periodo de 1996 a 2010 en el estado de San Luis Potosí.



Mapa 6.23 Tendencias de la mortalidad por asma vs tendencias de la temperatura mínima promedio durante el periodo de 1996 a 2010 en el estado de San Luis Potosí.



Mapa 6.24 Tendencias de la mortalidad por asma vs tendencias de la precipitación total durante el periodo de 1996 a 2010 en el estado de San Luis Potosí.

Cabe señalar que de la tasa total de mortalidad acumulada calculada, incluyendo los 15 años de estudio, y todas las causas de mortalidad evaluadas en todo el Estado, la región Huasteca concentró el 37% de la tasa total acumulada de mortalidad, la zona Media el 27%, la región Altiplano el 20%, y la zona Centro el 17% (Tabla 4).

Tabla 6.8 Porcentajes de las tasas totales de mortalidad acumulada por región y enfermedad en el estado de San Luis Potosí durante el periodo de 1996 a 2010.

Región	Cve_región	Anemia	Asma	Desnutr_calór	EPOC	Inf_intestin	Inf_resp_alta	Inf_resp_baja	Meningitis	Tuberculosis	Total
ALTIPLANO	1	15.2	24.3	16.1	22.6	18.0	12.5	21.8	14.0	8.7	19.5
CENTRO	2	11.6	14.1	19.3	14.3	22.0	11.3	20.8	17.0	11.3	17.0
MEDIA	3	28.6	16.7	25.4	29.9	26.0	18.6	27.7	16.3	16.0	26.6
HUASTECA	4	44.6	44.9	39.2	33.2	34.0	57.6	29.7	52.7	63.9	36.8

↑ Tendencias al aumento de la mortalidad
 ↓ Tendencias a la disminución de la mortalidad

6.4.8 Morbilidad de las principales enfermedades asociadas al clima.

De las enfermedades reemergentes analizadas, el dengue clásico y dengue hemorrágico, así como la tuberculosis y el síndrome coqueluchoide (tos ferina), fueron las que mostraron las mayores tasas de incidencia acumulada (dengue clásico=23,0/100 000 hab.; dengue hemorrágico=0,5/100 000 hab.; tuberculosis=12,2/100 000 hab.; síndrome coqueluchoide=0,64/100 000 hab.), así como tendencias al aumento de los casos de enfermedad exceptuando tuberculosis que presentó un ligera tendencia a la baja (dengue clásico, $m=0,8346$; $R^2=0,015$; dengue hemorrágico, $m=0,031$;

R²=0,0334; tuberculosis, m=-0,0603; R²=0,0251; síndrome coqueluchoide, m=0,1106; R²=0,6661) en el periodo de 1996 al 2011 (Figuras 6.19, 6.20, 6.21 y 6.22).

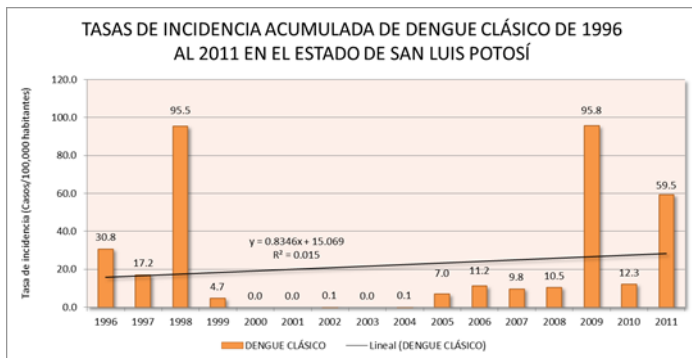


Figura 6.19 Tendencias de las tasas incidencia acumulada de dengue clásico en el estado de San Luis Potosí en el periodo de 1996 a 2011.

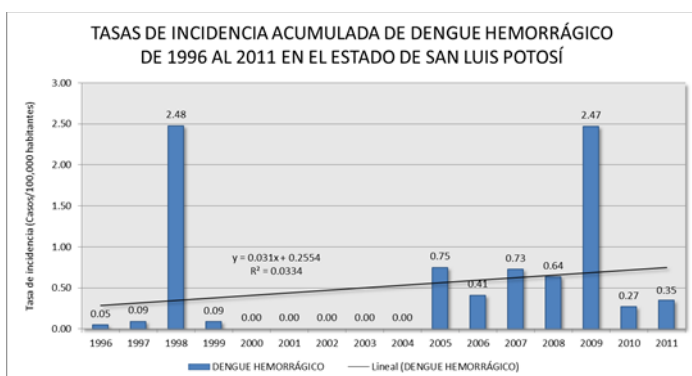


Figura 6.20 Tendencias de las tasas incidencia acumulada de dengue hemorrágico en el estado de San Luis Potosí en el periodo de 1996 a 2011.

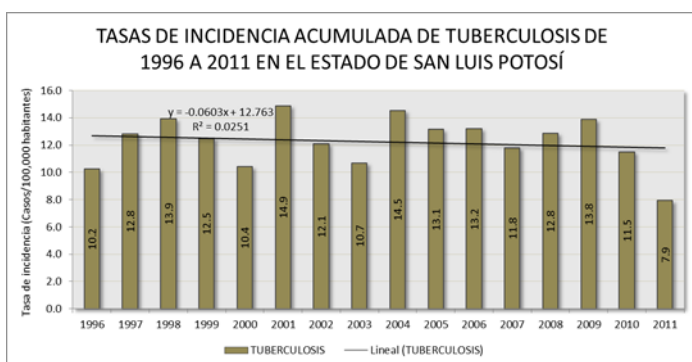


Figura 6.21 Tendencias de las tasas incidencia acumulada de tuberculosis en el estado de San Luis Potosí en el periodo de 1996 a 2011.

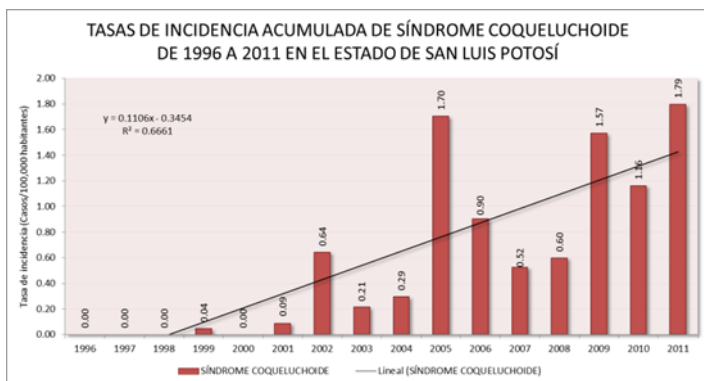
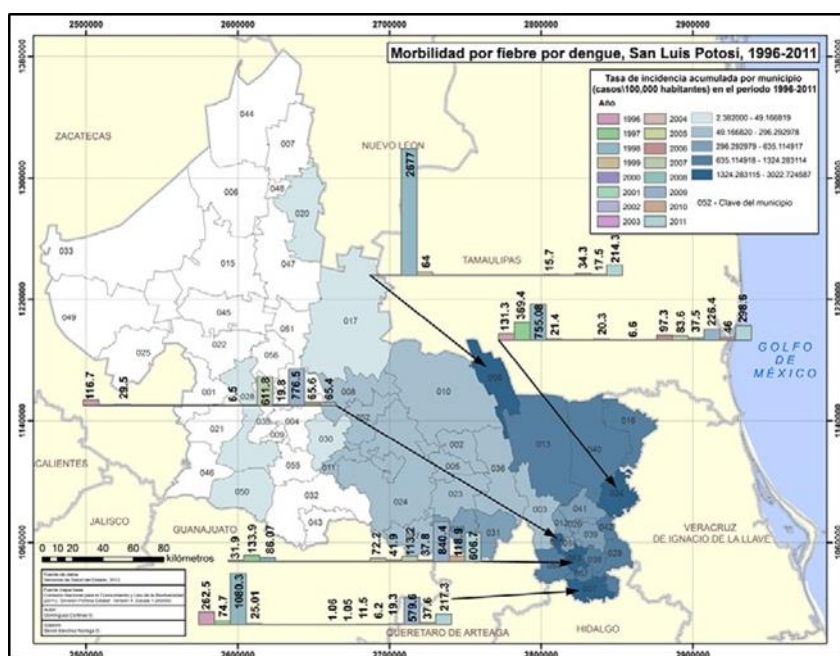


Figura 6.22 Tendencias de las tasas incidencia acumulada de tuberculosis en el estado de San Luis Potosí en el periodo de 1996 a 2011.

En el caso del dengue clásico, los años con las mayores tasas de incidencia acumulada fueron 1998 (95,5/100 000 hab.), 2009 (95,8/100 000 hab.) y 2011 (59,5/100 000 hab.), identificándose un patrón espacial en la distribución de la enfermedad que involucró al 62% (36/58) de los municipios del Estado, siendo algunos de la región Huasteca los que registraron las mayores tasas de incidencia acumulada para dicha enfermedad (Mapa 6.25). Estos municipios fueron, El Naranjo (176,9/100 000 hab.), Tamazunchale (142,9/100000 hab.), Axtla de Terrazas (138,4/100 000 hab.), San Vicente Tancuayaláb (120,6/100 000 hab.) y Huehuetlán (108,6/100 000 hab.) (Figura 6.23).



Mapa 6.25 Distribución de la morbilidad por dengue clásico en el estado de San Luis Potosí en el periodo de 1996 a 2011.

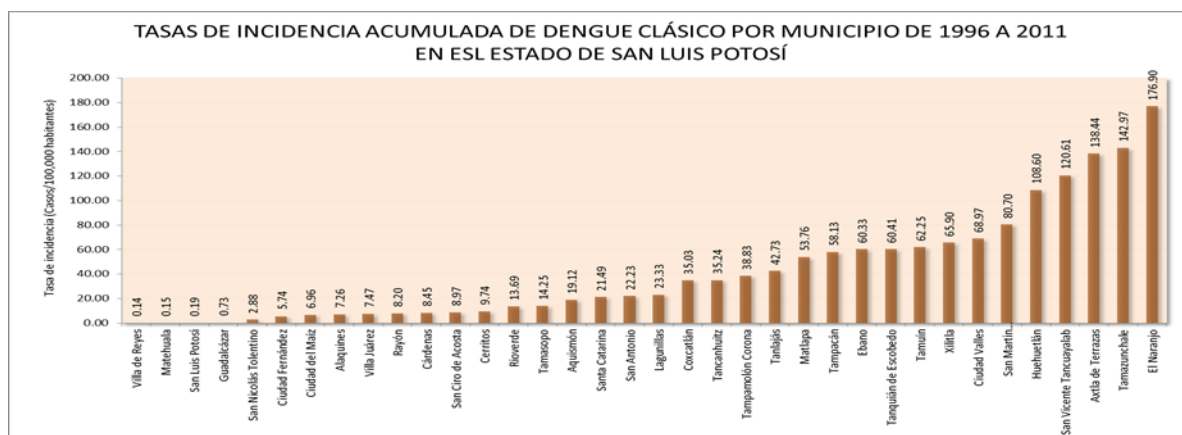


Figura 6.23 Tasas de incidencia acumulada de dengue clásico por municipio en el estado de San Luis Potosí durante el periodo de 1996 a 2011.

En el análisis de las tendencias de la incidencia acumulada de dengue clásico en el periodo de estudio a nivel estatal, se identificaron 27 municipios (69%) con tendencias al aumento de la enfermedad, y solo 12 (31%) con tendencias a su disminución. De acuerdo a esto, los municipios con las mayores tendencias positivas fueron, Axtla de Terrazas (m=27,47), Huehuetlán (m=18,66), San Martín Chalchicuautla (m=15,65) y Xilitla (m=15,17), y los municipios con las tendencias negativas más importantes fueron, El Naranjo (m=-40,27), Santo Domingo (m=-16,80) y Tamasopo (m=-11,98) (Figura 6.24).

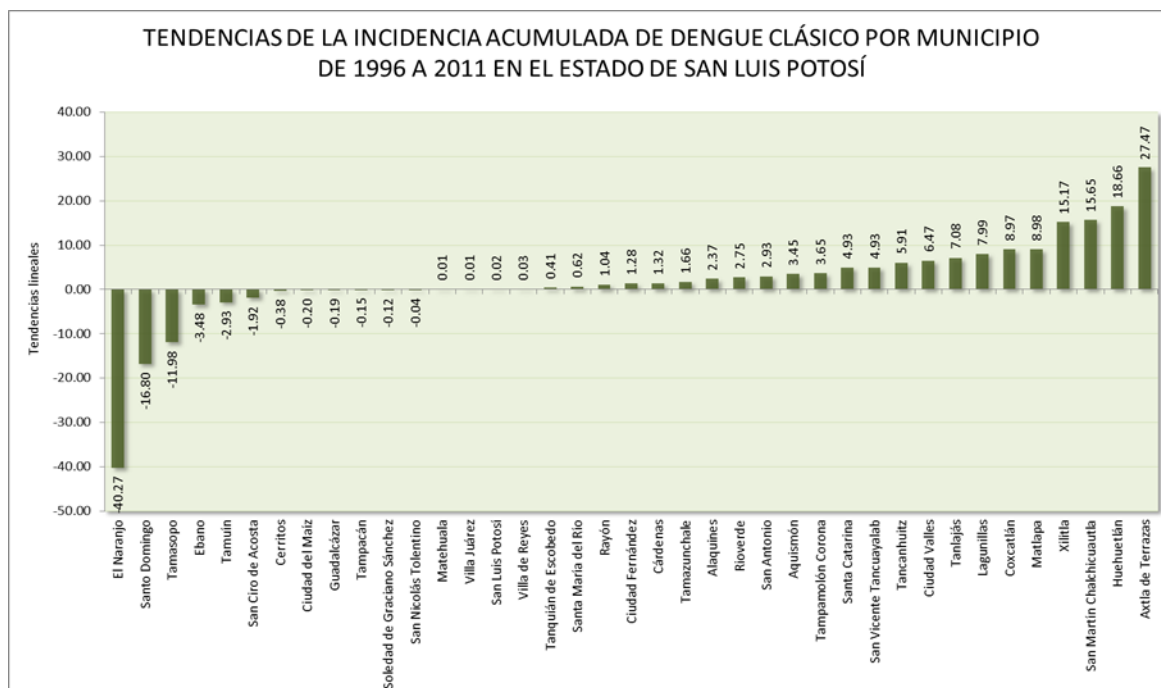
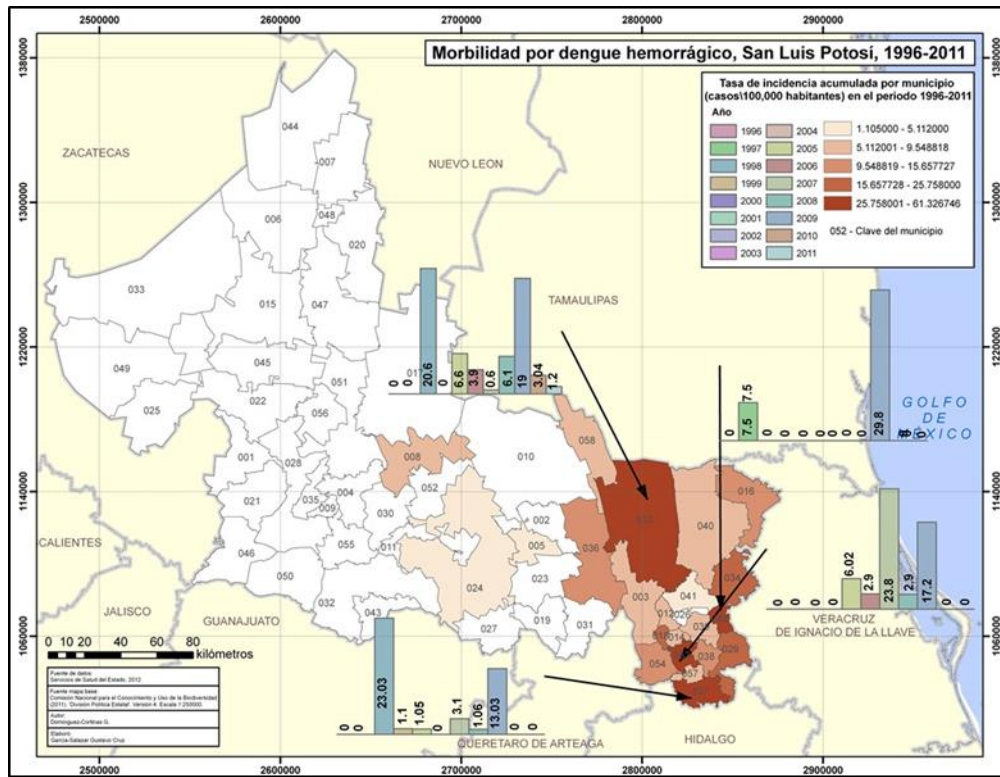


Figura 6.24 Tendencias de la incidencia acumulada de dengue clásico por municipio en el estado de San Luis Potosí durante el periodo de 1996 a 2011.

El dengue hemorrágico tuvo un comportamiento similar al dengue clásico, mostrando las mayores tasas de incidencia acumulada en los años de 1998 (2,48/100 000 hab.) y 2009 (2,47/100 000 hab.), e identificándose un patrón espacial en la distribución de la enfermedad que abarcó el 38% (22/58) de los municipios del Estado, siendo nuevamente los de la región Huasteca los que presentaron las mayores tasas de incidencia. Dichos municipios fueron los siguientes: Ciudad Valles (3,83/100 000 hab.), Axtla de Terrazas (3,46/100 000 hab.), Tamazunchale (2,63/100 000 hab.) y Tanquián de Escobedo (2,25/100 000 hab.) (Mapa 6.26 Figura 6.25).



Mapa 6.26 Distribución de la morbilidad por dengue hemorrágico en el estado de San Luis Potosí en el periodo de 1996 a 2011.

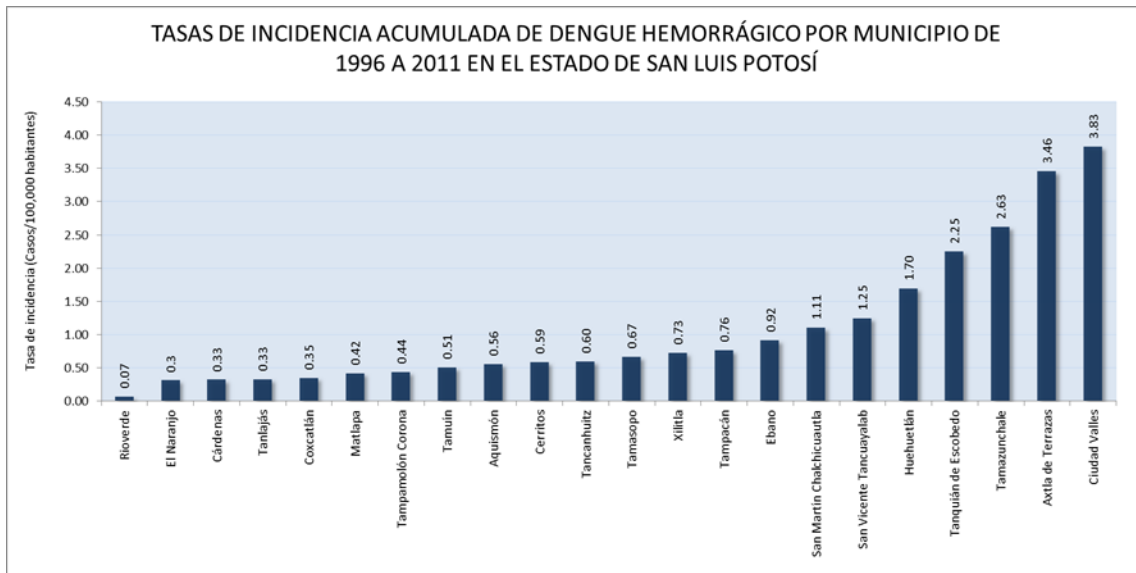


Figura 6.25 Tasas de incidencia acumulada de dengue hemorrágico por municipio en el estado de San Luis Potosí durante el periodo de 1996 a 2011.

En el análisis de las tendencias de la incidencia acumulada de dengue hemorrágico en el periodo de estudio a nivel estatal, se identificaron 19 municipios (86%) con tendencias al aumento de la enfermedad, y solo 3 (14%) con tendencias a su

disminución. De acuerdo a esto, los municipios con las mayores tendencias positivas fueron, Axtla de Terrazas ($m=0,61$) y Tanquián de Escobedo ($m=0,34$), y los dos municipios con tendencias negativas fueron, Cerritos ($m=-0,15$) y Tamazunchale ($m=-0,13$) (Figura 6.26).

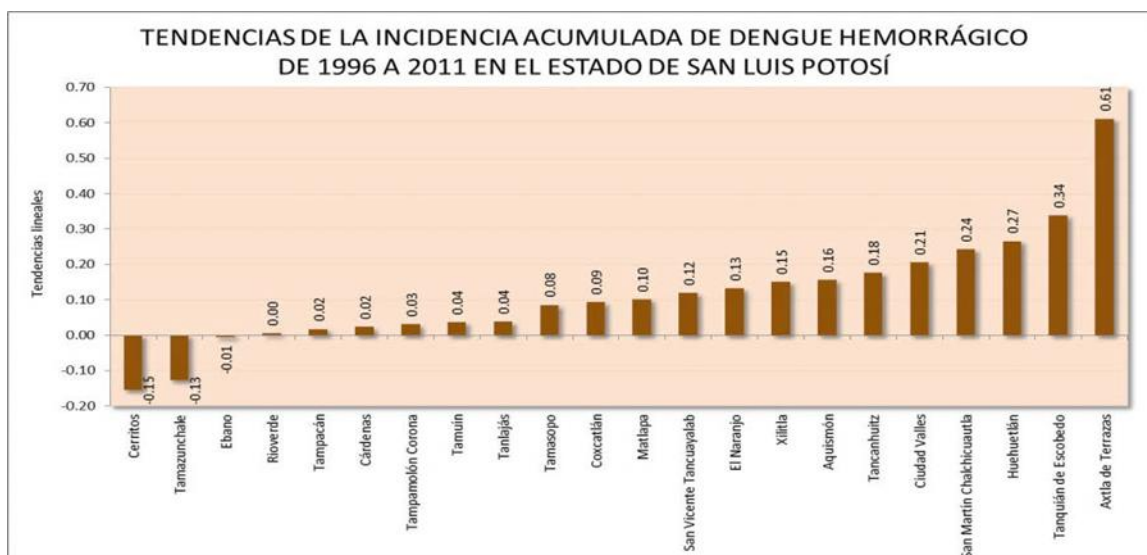
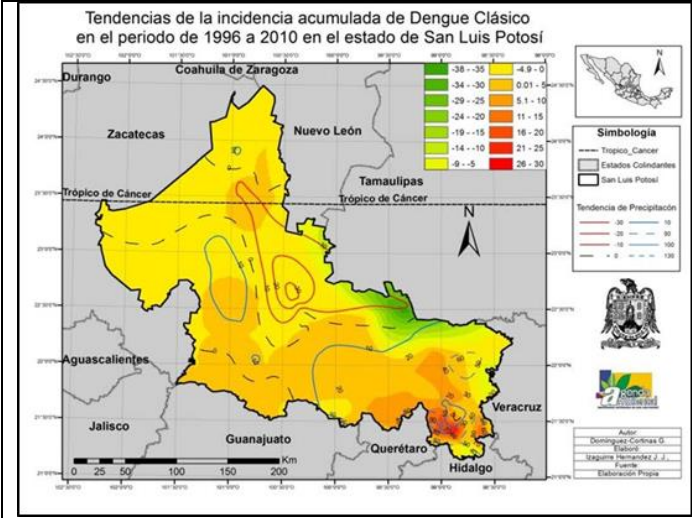
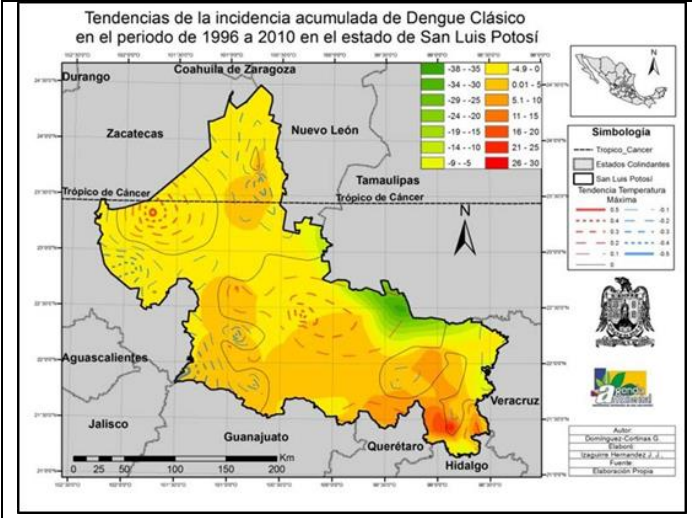


Figura 6.26 Tendencias de la incidencia acumulada de dengue hemorrágico por municipio en el estado de San Luis Potosí durante el periodo de 1996 a 2011.

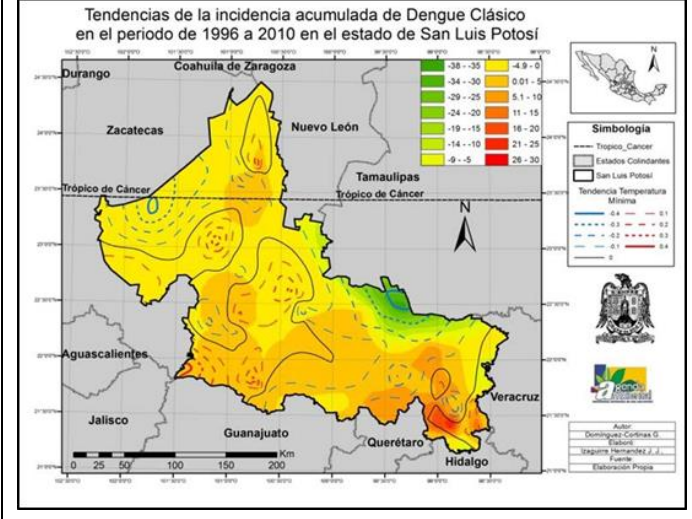
En el análisis comparativo entre el comportamiento de las variables climáticas y los dos tipos de dengue, se identificó una variación concomitante entre el incremento de la temperatura máxima, mínima, y precipitación, y el aumento en las tasas de incidencia de ambas enfermedades. De acuerdo a esto, el 50% y 47% de los municipios que presentaron tendencias al aumento de la incidencia de dengue clásico y hemorrágico respectivamente, también mostraron tendencias al aumento de días y noches más calientes con más lluvia (Mapas 6.27, 6.28, 6.29, 6.30, 6.31, 6.32). Los resultados de las correlaciones de Spearman entre el conjunto de datos climáticos y de morbilidad a nivel estatal fueron estadísticamente significativos (Spearman= $T_x=0,344^{**}$; $P_p=0,500^{**}$; $T_n=0,490^{**}$; $p=0,007$; $0,000$; $0,000$).



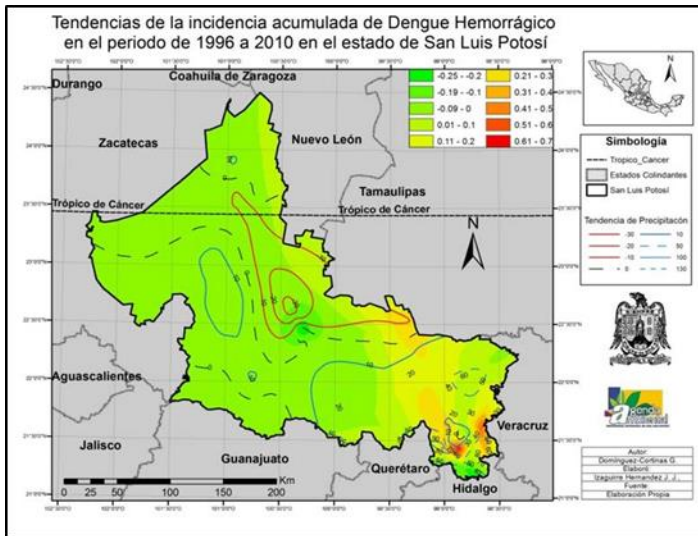
Mapa 6.27 Tendencias de la morbilidad por dengue clásico vs tendencias de la precipitación total durante el periodo de 1996 a 2011 en el estado de San Luis Potosí.



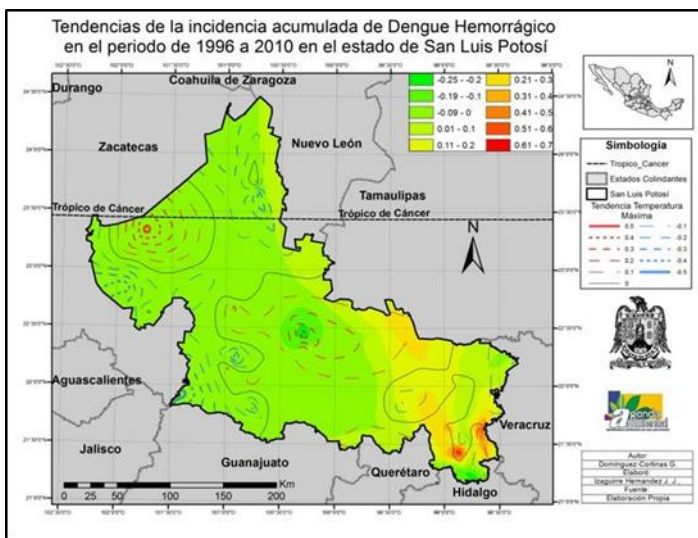
Mapa 6.28 Tendencias de la morbilidad por dengue clásico vs temperatura máxima promedio durante el periodo de 1996 a 2011 en el estado de San Luis Potosí.



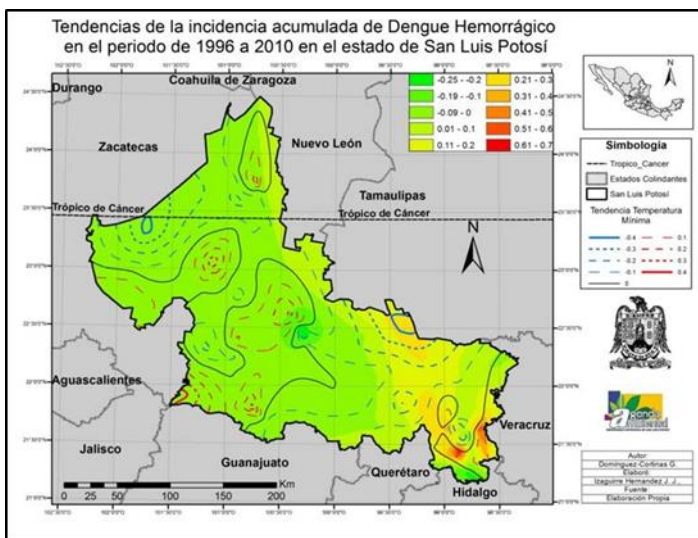
Mapa 6.29 Tendencias de la morbilidad por dengue clásico vs temperatura mínima promedio durante el periodo de 1996 a 2011 en el estado de San Luis Potosí.



Mapa 6.30 Tendencias de la morbilidad por dengue hemorrágico vs tendencias de la precipitación total durante el periodo de 1996 a 2011 en el estado de San Luis Potosí.



Mapa 6.31 Tendencias de la morbilidad por dengue hemorrágico vs tendencias de la temperatura máxima promedio durante el periodo de 1996 a 2011 en el estado de San Luis Potosí

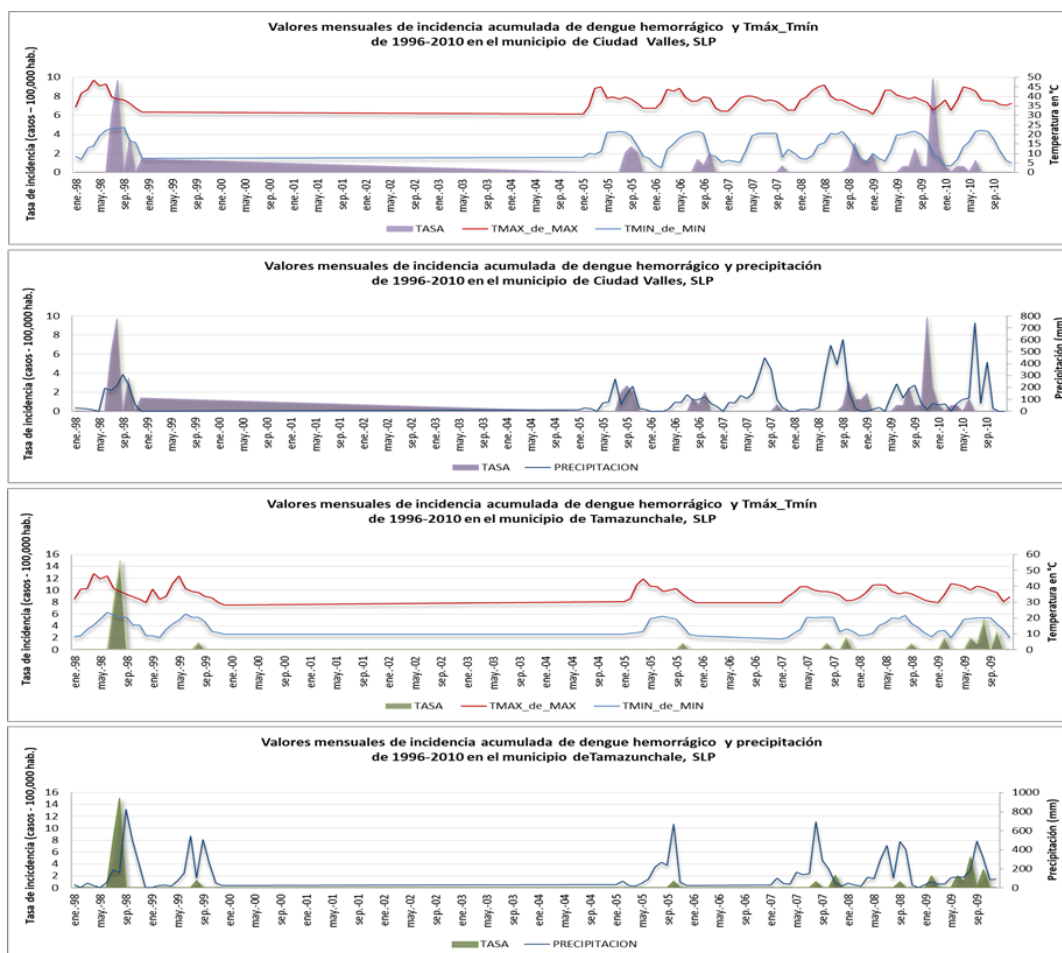


Mapa 6.32 Tendencias de la morbilidad por dengue hemorrágico vs tendencias de la temperatura mínima promedio durante el periodo de 1996 a 2011 en el estado de San Luis Potosí

En el mismo sentido, el análisis de correlación de Spearman a nivel municipal entre el conjunto de datos climáticos y las tasas de incidencia acumulada de dengue

clásico y hemorrágico resultaron positivos y estadísticamente significativos proporcionando indicios de una relación entre el aumento de la precipitación y las noches calientes con el aumento de los casos de ambos tipos de dengue para los municipios de Tamazunchale (Spearman=Pp=0,629**; Pp=0,348**; Tn=0,300*; Tn=0,180* p=0,000; 0,000; 0,010; 0,39) y Huehuetlán (Spearman=Pp=0,344**; Tn=0,320**; p=0,002; 0,004). Las Figuras 6.27 y 6.28 muestran el traslape de los meses en los que hubo una mayor TASA precipitación con los meses en que se registraron las mayores tasas de incidencia de dengue clásico y hemorrágico en diferentes municipios de la región Huasteca, durante los 15 años evaluados.

Figura 6.27 Valores mensuales de incidencia acumulada de dengue hemorrágico vs valores mensuales de precipitación y temperaturas máximas y mínimas, durante el periodo de 1996 a 2010 en municipios de la Huasteca Potosina.



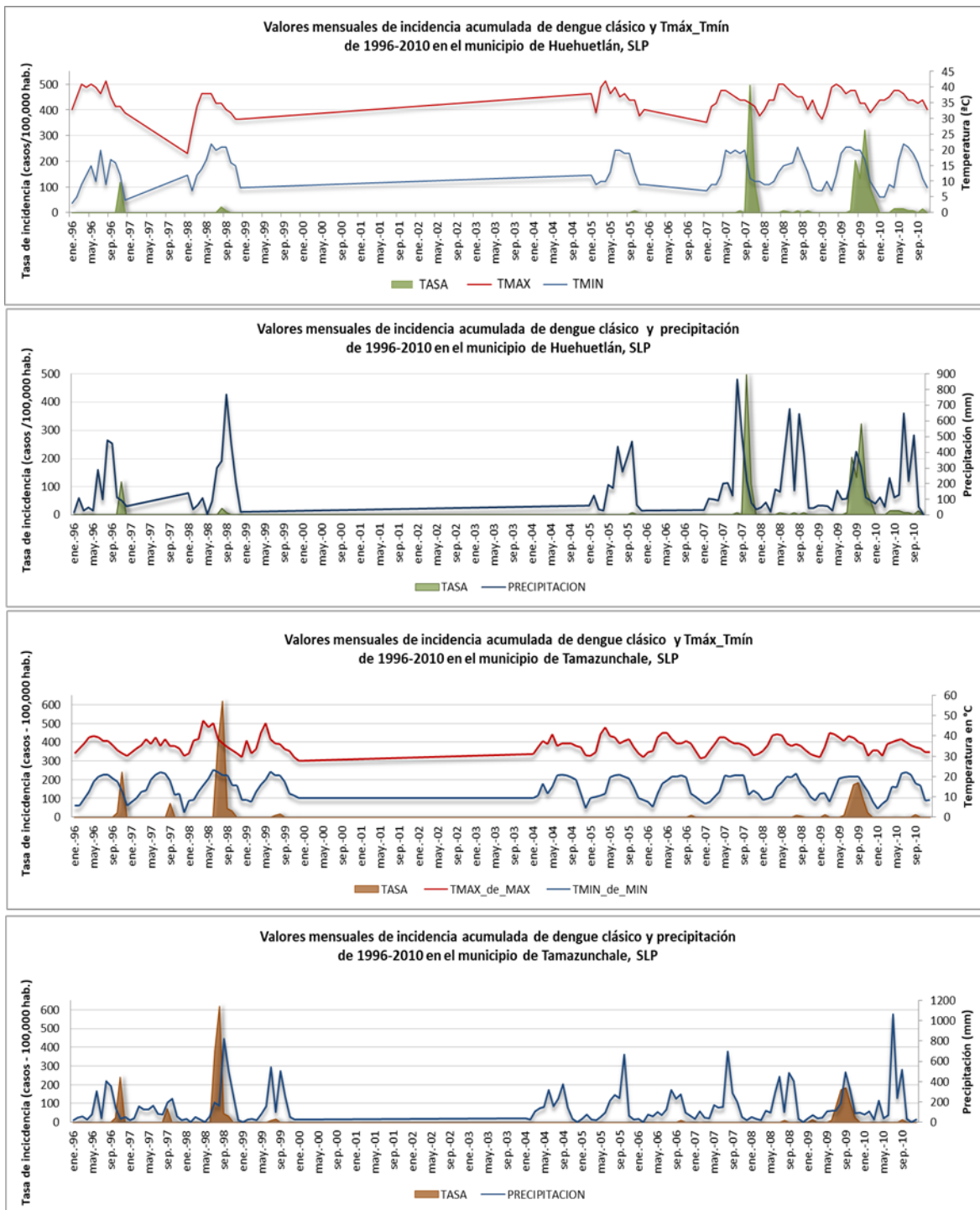
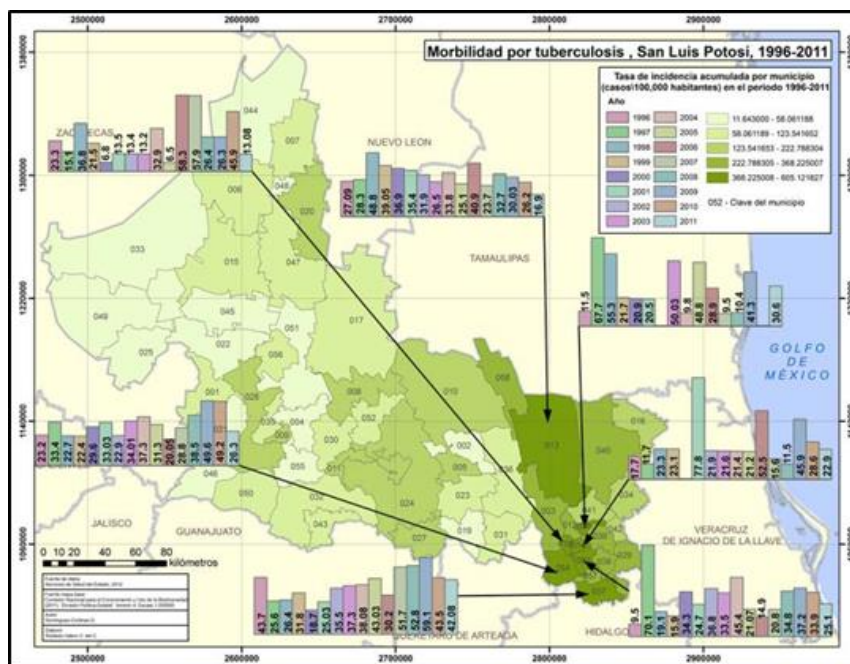


Figura 6.28 Valores mensuales de incidencia acumulada de dengue clásico vs valores mensuales de precipitación y temperaturas máximas y mínimas, durante el periodo de 1996 a 2010 en municipios de la Huasteca Potosina.

En la distribución espacial y temporal de la tuberculosis se observó una concentración de las mayores tasas de incidencia acumulada en los años de 1998 (13,9/100 000 hab.), 2001 (14,9/100 000 hab.), 2004 (14,5/100 000 hab.) y 2009

(13,8/100 000 hab.), siendo también municipios de la región Huasteca los que concentraron las mayores tasas de incidencia acumulada en todo el periodo de estudio (Mapa 6.33). Dichos municipios fueron, Tamazunchale (38,5/100 000 hab.), Xilitla (31,7/100 000 hab.), Ciudad Valles (30,8/100 000 hab.) y Axtla de Terrazas (30,4/100 000 hab.) (Figura 6.29).



Mapa 6.33 Distribución de la morbilidad por tuberculosis en el estado de San Luis Potosí en el periodo de 1996 a 2011.

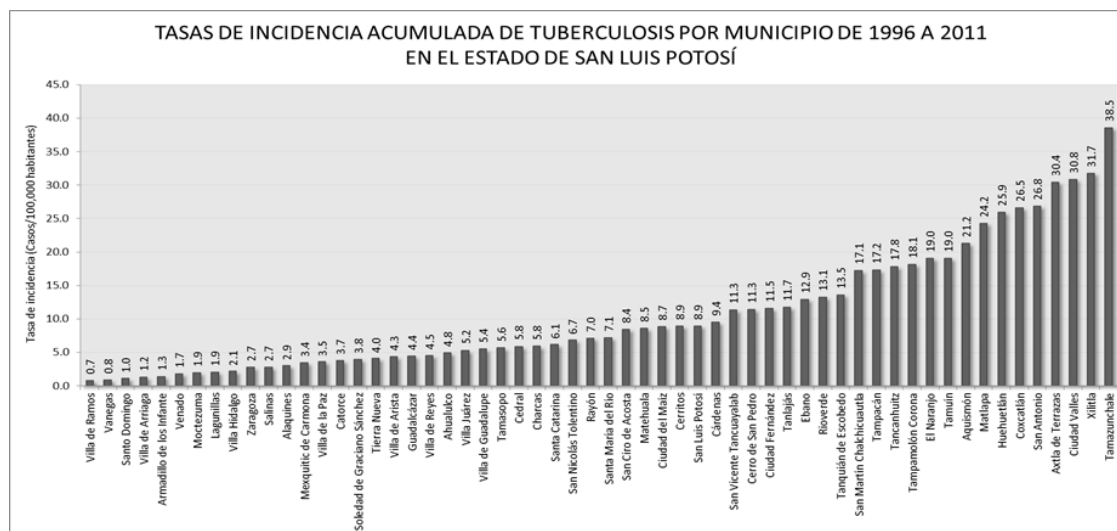


Figura 6.29 Tazas de incidencia acumuladas de tuberculosis por municipio en el estado de San Luis Potosí durante el periodo de 1996 a 2011.

En el análisis de las tendencias de la incidencia acumulada de tuberculosis en el periodo de estudio a nivel estatal, se identificaron 37 municipios del Estado (64%) que mostraron tendencias al aumento de la incidencia de la enfermedad en los 15 años evaluados, siendo los municipios con las mayores tendencias, Matlapa (m=2,79), Tamazunchale (m=1,52), Huehuetlán (m=1,11), San Ciró de Acosta (m=1,08), San Nicolás Tolentino (m=1,05), San Vicente Tancuayaláb (m=0,99) y Xilitla (m=0,96). Por otro lado, 21 municipios (36%) presentaron tendencias a la disminución de la incidencia de tuberculosis, siendo los que mostraron las tendencias más negativas, San Antonio (m=-1,15), Ciudad Valles (m=-0,77) y Matehuala (m=-0,57) (Figura 6.30).

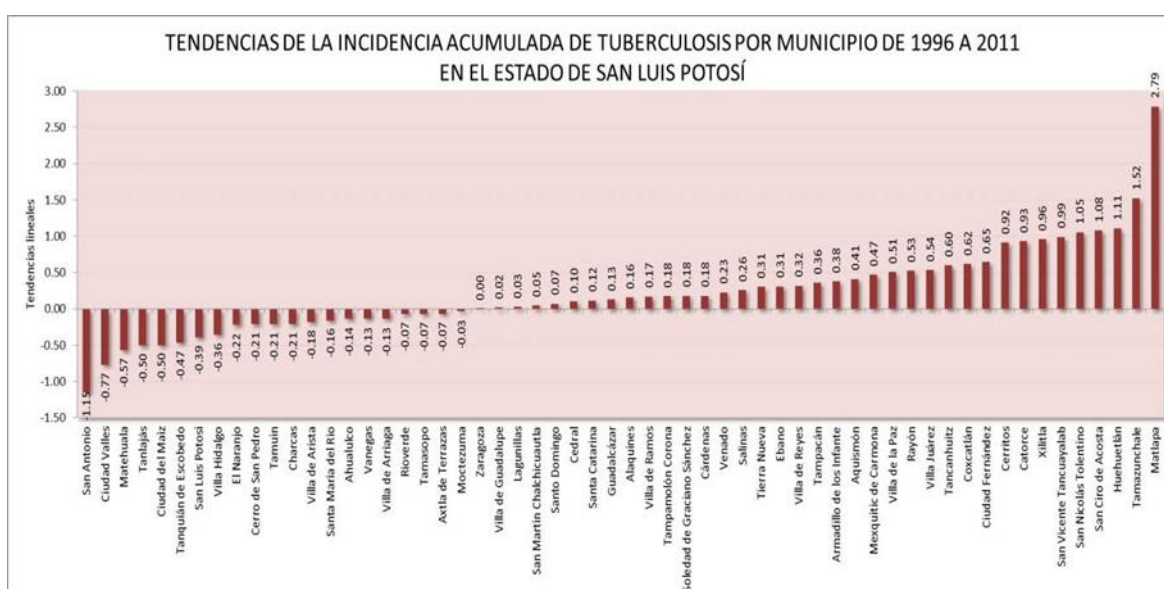
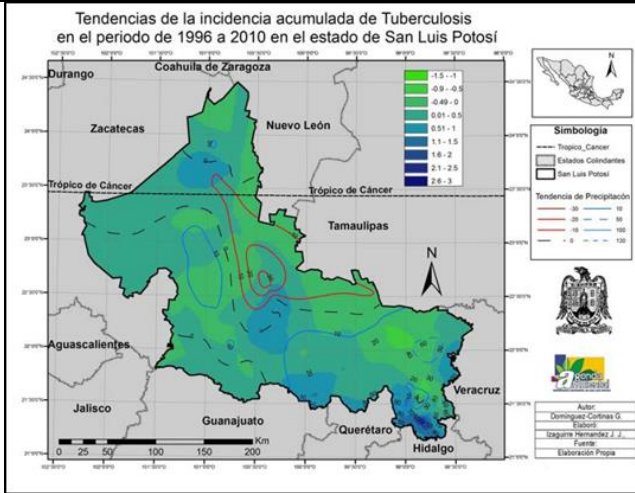
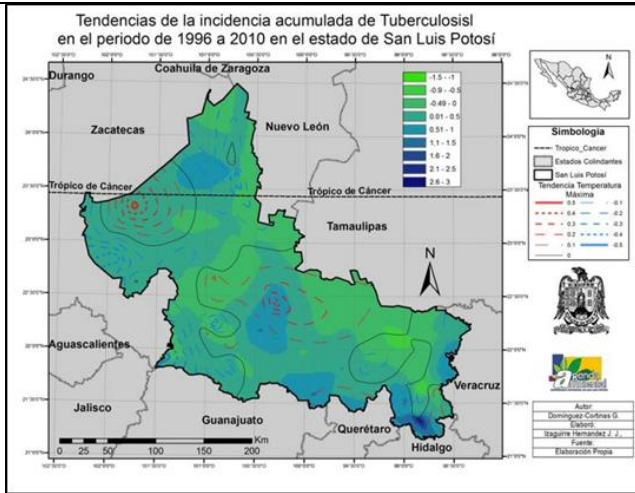


Figura 6.30 Tendencias de la incidencia acumulada de tuberculosis por municipio en el estado de San Luis Potosí durante el periodo de 1996 a 2011.

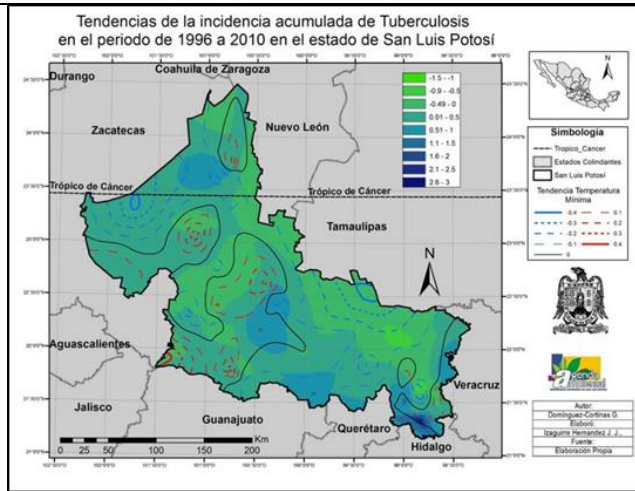
El análisis de las tendencias climáticas con las tendencias de las tasas de incidencia acumulada de tuberculosis en la entidad, arrojó resultados que mostraron coincidencia entre las tendencias al aumento de la tuberculosis y las tendencias al aumento de días más calientes, con aumento de la precipitación. De acuerdo a esto, el 59% de los municipios con tendencias al aumento de la incidencia de la tuberculosis en el Estado, mostraron también tendencias climáticas consideradas de alto riesgo para el desarrollo de la enfermedad (Mapas 6.34, 6.35 y 6.36).



Mapa 6.34 Tendencias de la morbilidad por tuberculosis vs tendencias de la precipitación total durante el periodo de 1996 a 2011 en el estado de San Luis Potosí.



Mapa 6.35 Tendencias de la morbilidad por tuberculosis vs tendencias de la temperatura máxima promedio durante el periodo de 1996 a 2011 en el estado de San Luis Potosí.



Mapa 6.36 Tendencias de la morbilidad por tuberculosis vs tendencias de la temperatura mínima promedio durante el periodo de 1996 a 2011 en el estado de San Luis Potosí

A pesar de que las pruebas de correlación entre los grupos de datos climáticos y de morbilidad a nivel estatal no resultaron significativas, si fue posible encontrar correlaciones significativas entre la incidencia de tuberculosis y el aumento de días más calientes (aumento de Tx) al interior de algunos municipios.

Este fue el caso de los municipios de Tamazunchale (Spearman= $T_x=0,262^{**}$; $p=0,000$) y Xilitla (Spearman= $T_x=0,159^*$; $p=0,042$). Las Figuras 6.31 y 6.32 muestran el traslape de los meses en los que hubo una mayor temperatura máxima con los meses en que se registraron las mayores tasas de incidencia de tuberculosis en ambos municipios durante los 16 años evaluados.

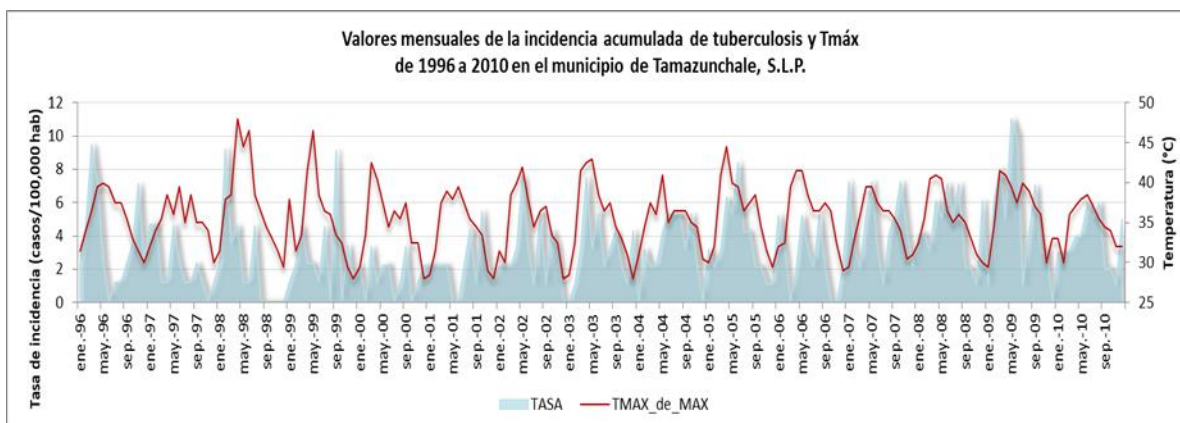


Figura 6.31 Valores mensuales de incidencia acumulada de tuberculosis vs valores mensuales de temperatura máxima durante el periodo de 1996 a 2010 en el municipio de Tamazunchale, S.L.P.

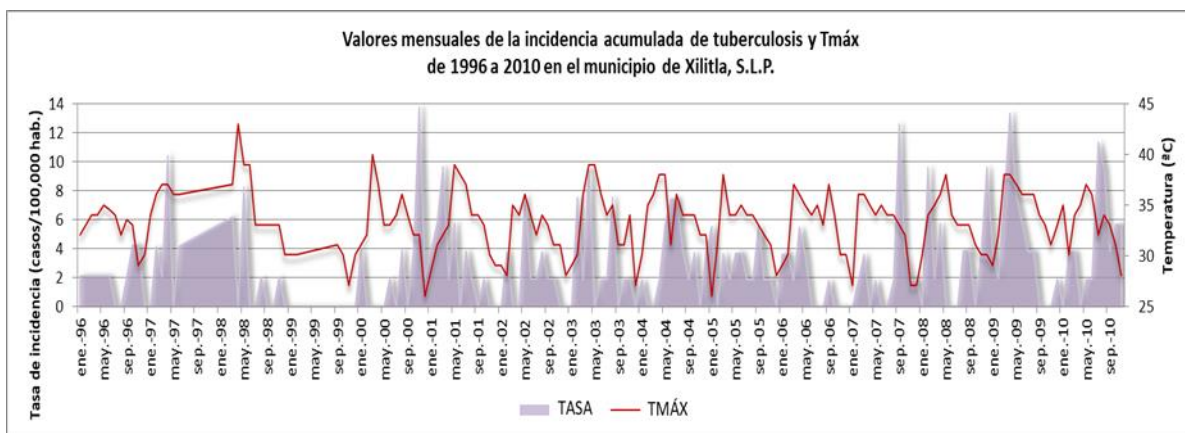
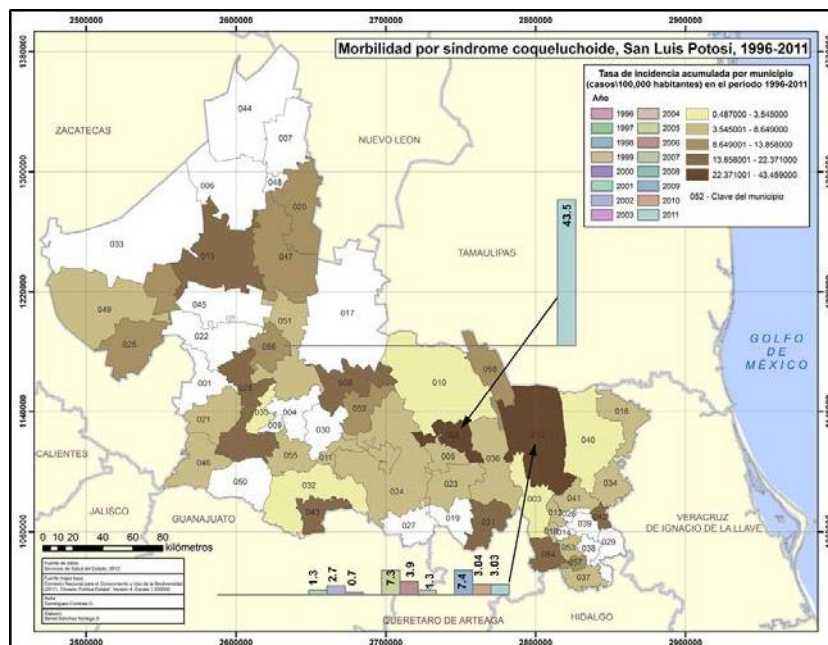


Figura 6.32 Valores mensuales de incidencia acumulada de tuberculosis vs valores mensuales de temperatura máxima durante el periodo de 1996 a 2010 en el municipio de Xilitla, S.L.P.

En la distribución espacial y temporal del síndrome coqueluchoide (tos ferina) durante los 16 años de estudio, éste se presentó en 38 municipios (65%) del Estado (7 de la región Altiplano (19,5%), 7 de la zona Centro (16%), 9 de la zona Media (30%) y 15 de la región Huasteca (35%)), mostrando altas tasas de incidencia acumulada en los años de 2005 (1,70/100 000 hab.), 2009 (1,57/100 000 hab.) y 2011 (1,79/100 000 hab.) (Mapa 27). En este sentido, los municipios que tuvieron

las mayores tasas de incidencia de la enfermedad fueron, Ciudad Valles (1,94/100 000 hab.), Tierra Nueva (1,33/100 000 hab.) y Santa Catarina (1,10/100 000 hab.) (Figura 6.33).



Mapa 6.37 Distribución de la morbilidad por síndrome coqueluchoide en el estado de San Luis Potosí en el periodo de 1996 a 2011.

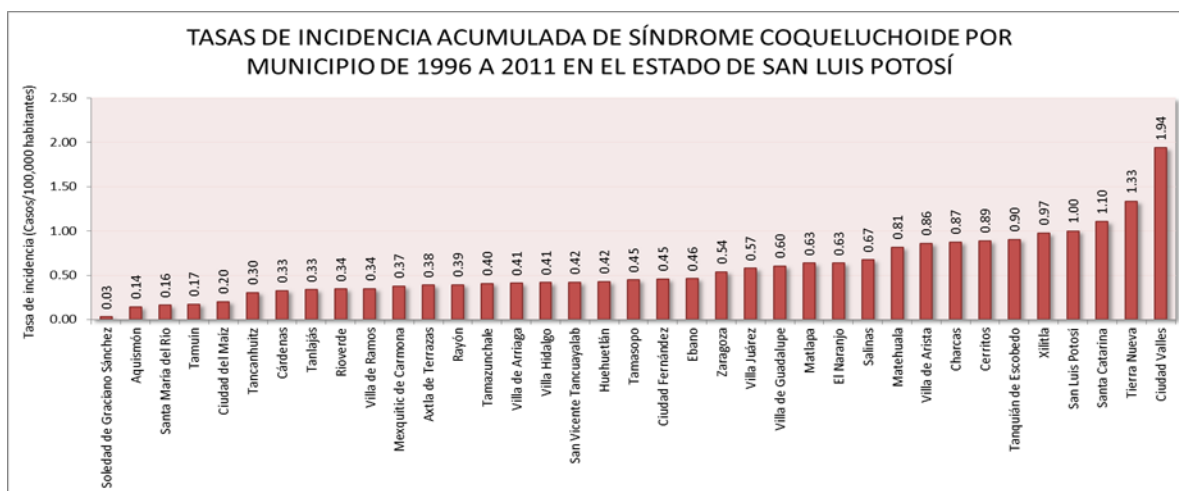


Figura 6.33 Tasas de incidencia acumuladas de síndrome coqueluchoide por municipio en el estado de San Luis Potosí durante el periodo de 1996 a 2011.

En el análisis de las tendencias de la incidencia acumulada del síndrome coqueluchoide en el periodo de estudio a nivel estatal, es importante resaltar que los 38 municipios (100%) con casos registrados, mostraron tendencias al aumento

de la incidencia de la enfermedad, siendo los que tuvieron las mayores tendencias positivas, Alaquines ($m=0,96$), Santa Catarina ($m=0,40$), Cerritos ($m=0,34$), Ciudad Valles ($m=0,30$), Charcas ($m=0,27$), El Naranjo ($m=0,26$), Salinas ($m=0,23$) y Xilitla ($m=0,22$) entre otros (Figura 6.34).

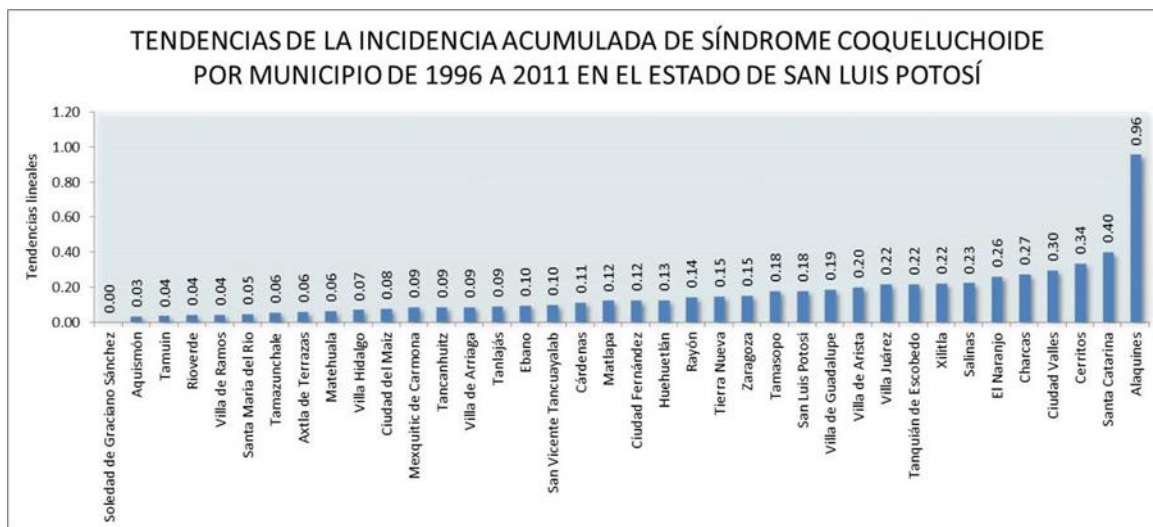
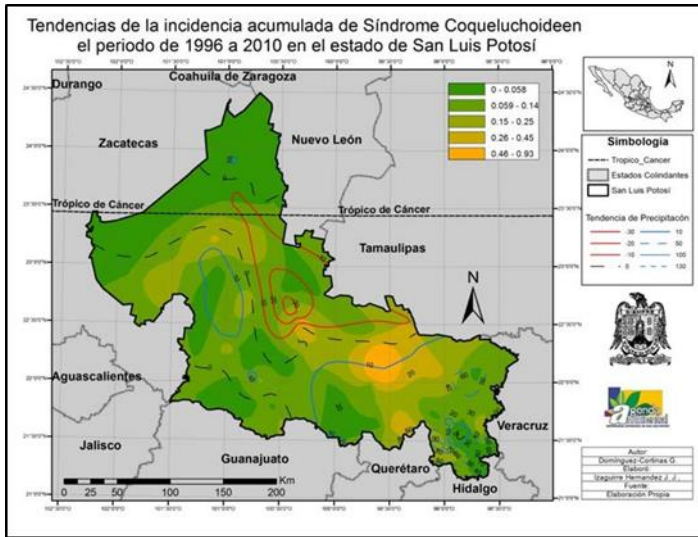
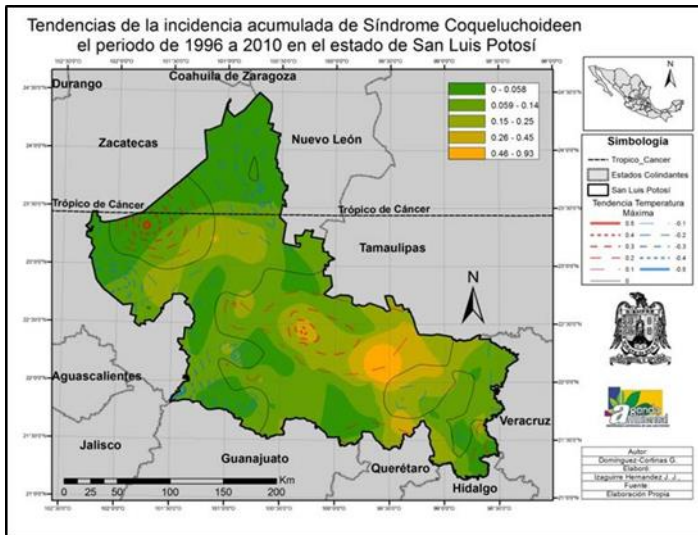


Figura 6.34 Tendencias de la incidencia acumulada de síndrome coqueluchoide por municipio en el estado de San Luis Potosí durante el periodo de 1996 a 2011.

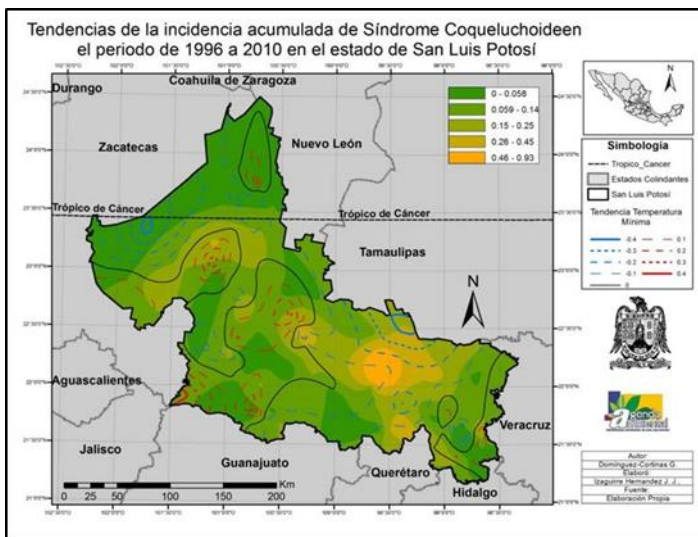
Considerando la etiología del síndrome coqueluchoide, y que éste se ve favorecido por los ambientes cálidos (35°C y 37°C) y húmedos, se realizó un análisis de las tendencias climáticas con las tendencias de la incidencia acumulada de la enfermedad, encontrando que el 50% de los municipios que mostraron tendencia al aumento de las incidencias de esta enfermedad, también presentaron tendencias al aumento de los días más calientes (T_x) y más lluviosos; este fue el caso de los municipios de Alaquines, Cerritos, Santa Catarina, Zaragoza, Salinas, Tanquián de Escobedo, Xilitla y Matlapa, entre otros (Mapas 6.38, 6.39 y 6.40). Esto fue reforzado por los resultados de las correlaciones de Spearman que mostraron significancia estadística ($T_x=0,517^*$; $P_p=0,649^{**}$; $p=0,017$; $0,000$).



Mapa 6.38 Tendencias de la morbilidad por síndrome coqueluchoide vs tendencias de la precipitación total durante el periodo de 1996 a 2011 en el estado de San Luis Potosí.



Mapa 6.39 Tendencias de la morbilidad por síndrome coqueluchoide vs tendencias de la temperatura máxima promedio durante el periodo de 1996 a 2011 en el estado de San Luis Potosí.



Mapa 6.40 Tendencias de la morbilidad por síndrome coqueluchoide vs tendencias de la temperatura mínima promedio durante el periodo de 1996 a 2011 en el estado de San Luis Potosí.

De las catorce enfermedades de seguimiento y vigilancia epidemiológica analizadas, las que presentaron las mayores tasas de incidencia acumulada en el Estado durante el periodo de estudio fueron, las infecciones respiratorias agudas (IRA) (27 222,7/100 000 hab.), las infecciones intestinales (4 698,7/100 000 hab.), la amebiasis (799,4/100 000 hab.) y el asma (207,7/100 000 hab.); sin embargo, las infecciones respiratorias agudas ($m=20,226$; $R^2=0,0009$) y las infecciones intestinales ($m=18,371$; $R^2=0,0192$) mostraron muy ligera tendencia al aumento de casos de enfermedad, mientras que el asma ($m=10,176$; $R^2=0,7376$), presentó una clara tendencias al incremento de su tasa de incidencia (Figuras 6.35, 6.36 y 6.37).



Figura 6.35 Tendencias de las tasas incidencia acumulada de IRA en el estado de San Luis Potosí en el periodo de 1996 a 2011.

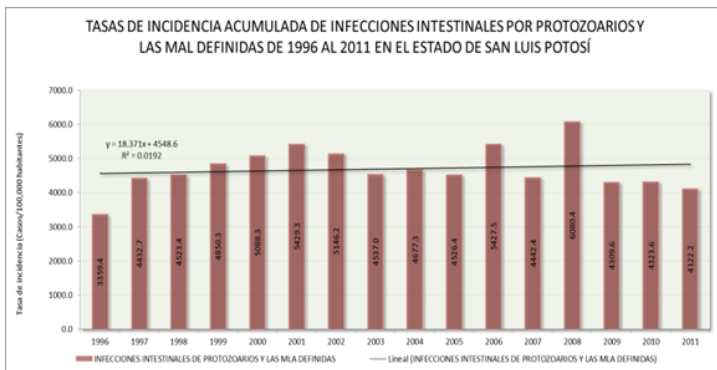


Figura 6.36 Tendencias de las tasas incidencia acumulada de infecciones intestinales en el estado de San Luis Potosí en el periodo de 1996 a 2011.

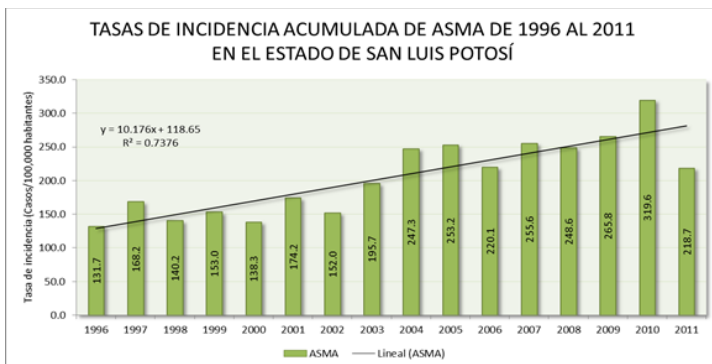
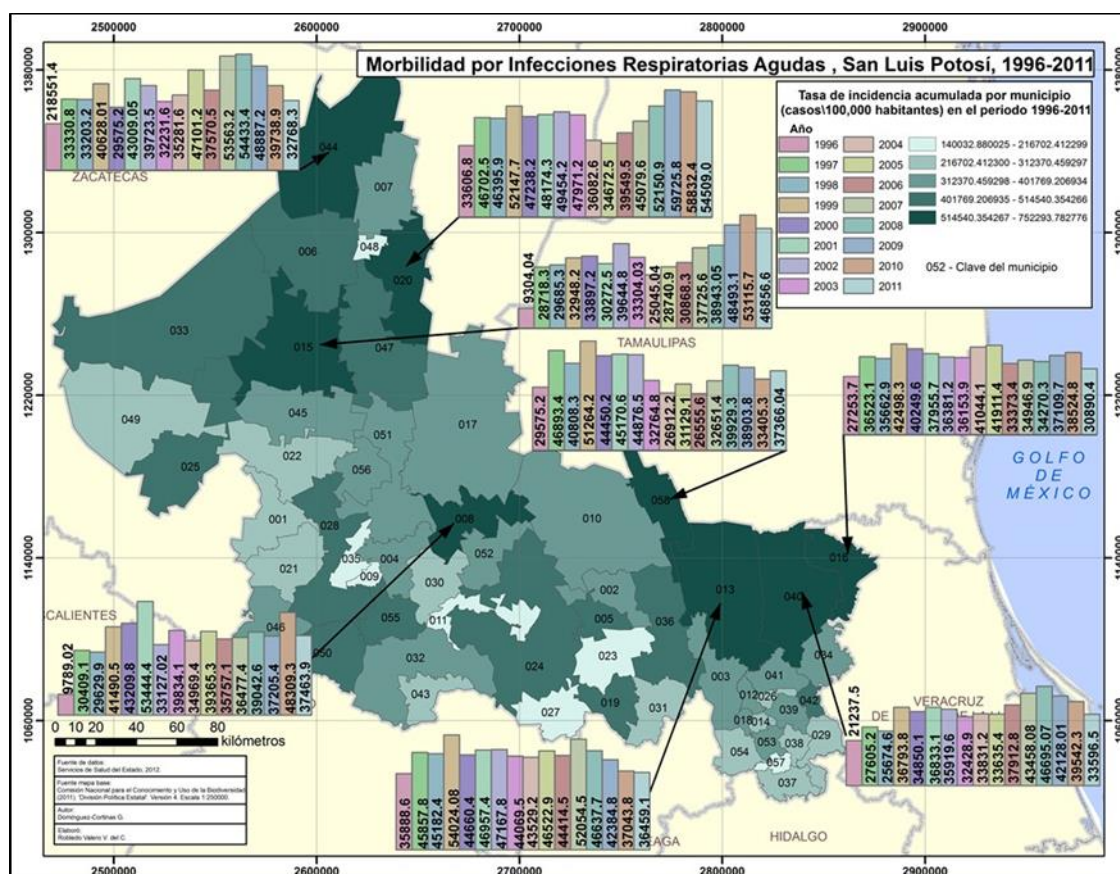


Figura 6.37 Tendencias de las tasas incidencia acumulada de asma en el estado de San Luis Potosí en el periodo de 1996 a 2011.

Los patrones de distribución espacial y temporal de las IRA, mostraron las mayores incidencias de la enfermedad en los años de 1999 (29 845,7/100 000 hab.), 2002 (28 033,4/100 000 hab.) y 2009 (28 395,2/100 000 hab.), siendo los municipios con las mayores tasas acumuladas, Matehuala (45 262,3/100 000 hab.), Ciudad Valles (43 722,0/100 000 hab.), Vanegas (36 462,5/100 000 hab.), Cerritos (35 607,6/100 000 hab.) y El Naranjo (35 403,6/100 000 hab.); y los que presentaron las tasas de enfermedad más bajas, Ciudad Fernández (8 409,0/100 000 hab.), Villa de la Paz (9 639,0/100 000 hab.) y Soledad de Graciano Sánchez (9 646,5/100 000 hab.) (Mapa 31, Figura 36). Sin embargo, es importante hacer notar que las IRA no solamente se encontraron en los 58 municipios del Estado en todos los años estudiados, sino que además presentaron muy altas tasas de incidencia acumulada en cada uno de ellos, de hecho, las IRA tuvieron la tasa de incidencia acumulada más alta de todas las enfermedades analizadas, comprendiendo el 82% del total de la carga de morbilidad identificada en todo el periodo de estudio.



Mapa 6.41. Distribución de la morbilidad por IRA en el estado de San Luis Potosí en el periodo de 1996 a 2011.

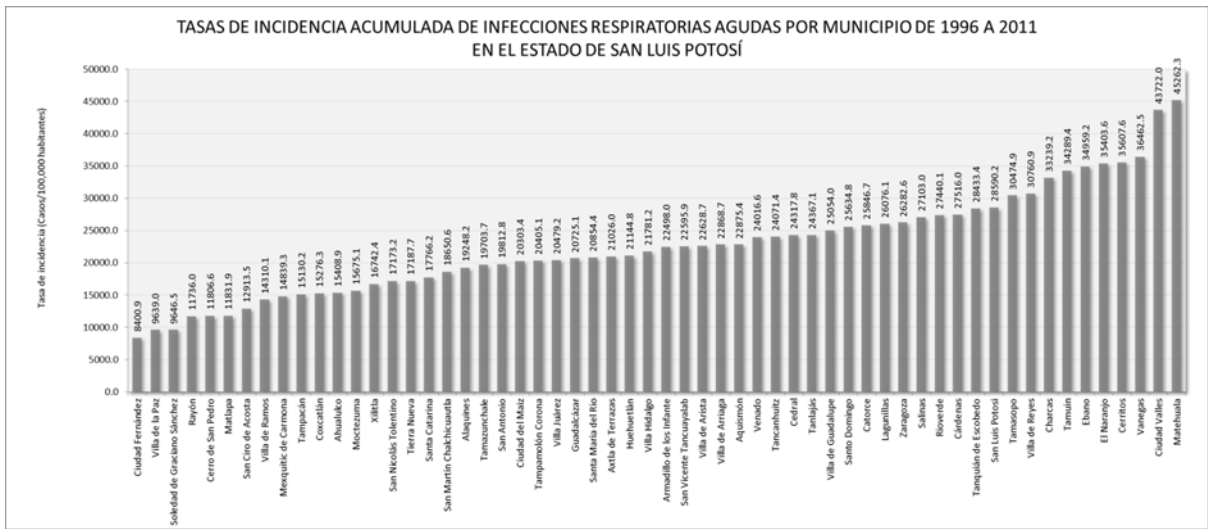


Figura 6.38 Tasas de incidencia acumulada de IRA por municipio en el estado de San Luis Potosí durante el periodo de 1996 a 2011.

Por otro lado, las tendencias de la incidencia de IRA resultaron positivas en el 88% de los municipios de la entidad (51), siendo los municipios con las tendencias positivas más elevadas, Santo Domingo (m=1792,0), Villa de Arista (m=1661,6) y Rioverde (m=1420,1). El 12% de los municipios restantes (7) mostraron tendencias negativas, siendo los municipios de El Naranjo (m= -1021,1), San Luis Potosí (m= -817,2) y Ciudad Valles (m= -404,4) los de las tendencias más negativas (Figura 6.39).

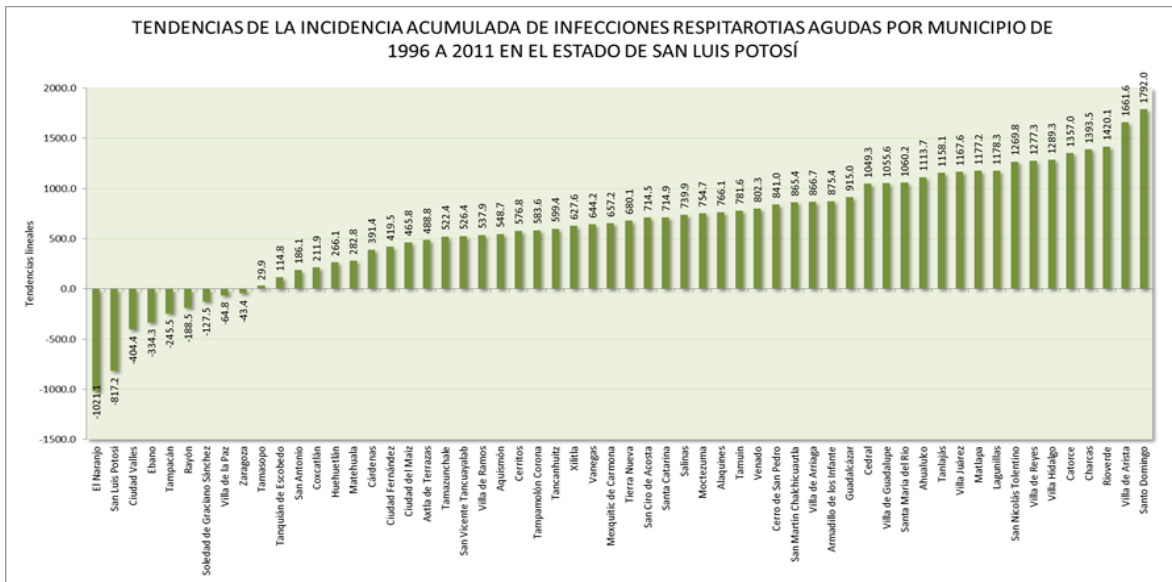
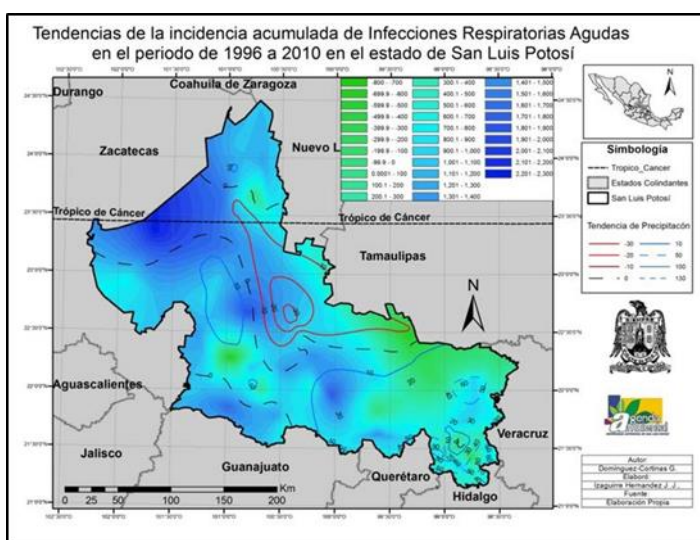
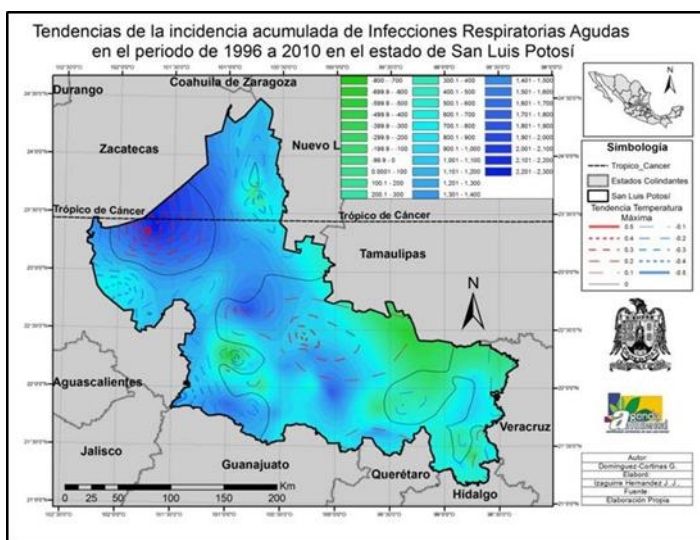


Figura 6.39 Tendencias de la incidencia acumulada de IRA por municipio en el estado de San Luis Potosí durante el periodo de 1996 a 2011.

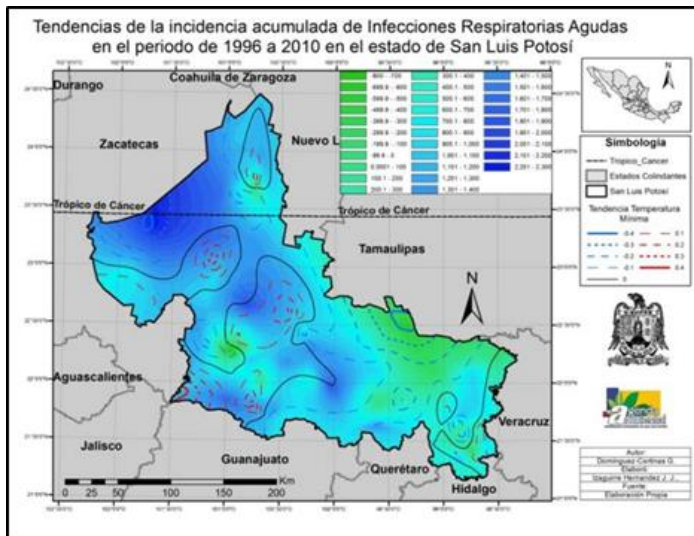
La amplia distribución de IRA y sus altas tasas de incidencia acumulada en todo el Estado, dificultó mucho la identificación de patrones espaciales y temporales que pudieran ser empatados con los patrones climáticos identificados, a pesar de ser sabido que las bajas temperaturas, así como la sequedad o exceso de humedad en el ambiente son factores que favorecen la aparición y exacerbación de dicha enfermedad; no obstante, el 41% de los municipios que mostraron tendencias al aumento de las IRA, también presentaron tendencias al aumento de los días y noches fríos (Tx y Tn bajas) con variación de la precipitación (Mapas 6.42, 6.43 y 6,44).



Mapa 6.42 Tendencias de la morbilidad por IRA vs tendencias de la precipitación total durante el periodo de 1996 a 2011 en el estado de San Luis Potosí.



Mapa 6.43 Tendencias de la morbilidad por IRA vs tendencias de la temperatura máxima promedio durante el periodo de 1996 a 2011 en el estado de San Luis Potosí.



Mapa 6.44 Tendencias de la morbilidad por IRA vs tendencias de la temperatura mínima promedio durante el periodo de 1996 a 2011 en el estado de San Luis Potosí.

De acuerdo a esto las correlaciones entre los datos climáticos y las tasas de incidencia de IRA no resultaron significativas a nivel estatal, sin embargo en varios municipios se identificaron correlaciones Spearman negativas y estadísticamente significativas entre las temperaturas máxima y mínima, así como con la precipitación, lo que significa una mayor incidencia de las IRA cuando las temperaturas y la precipitación bajan (días y noches fríos con poca lluvia). Este fue el caso de los municipios de Ciudad Valles ($T_x=-0,487^{**}$; $P_p=-0,432^{**}$; $T_n=-0,693^{**}$; $p=0,000$; $0,000$; $0,000$), Matehuala ($T_x=-0,276^{**}$; $P_p=-0,287^{**}$; $T_n=-0,490^{**}$; $p=0,000$; $0,000$; $0,000$), Vanegas ($T_x=-0,497^{**}$; $P_p=-0,201^{*}$; $T_n=-0,539^{**}$; $p=0,000$; $0,016$; $0,000$), Villa de Arista ($T_x=-0,344^{**}$; $P_p=-0,255^{**}$; $T_n=-0,434^{**}$; $p=0,000$; $0,001$; $0,000$) y Santo Domingo ($P_p=-0,181^{*}$; $T_n=-0,585^{**}$; $p=0,016$; $0,000$). Las Figuras 6.40, 6.41, 6.42, 6.43, 6.44 y 6.45 muestran el traslape de los meses en los que hubo una baja de temperatura máxima y mínima, así como baja precipitación con los meses en que se registraron las mayores tasas de incidencia de IRA en los municipios de Ciudad Valles, Matehuala y Vanegas durante los 16 años evaluados.

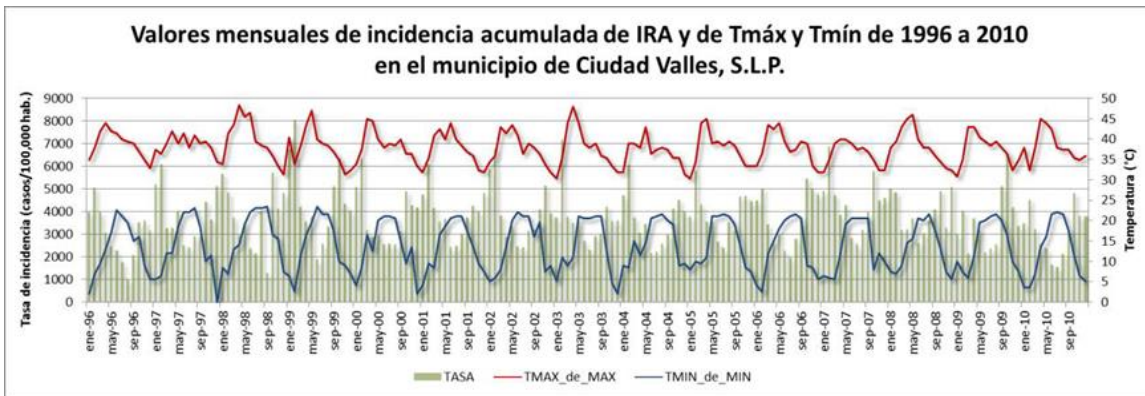


Figura 6.40 Valores mensuales de incidencia acumulada de IRA vs valores mensuales de temperatura máxima y mínima durante el periodo de 1996 a 2010 en el municipio de Ciudad Valles, S.L.P.

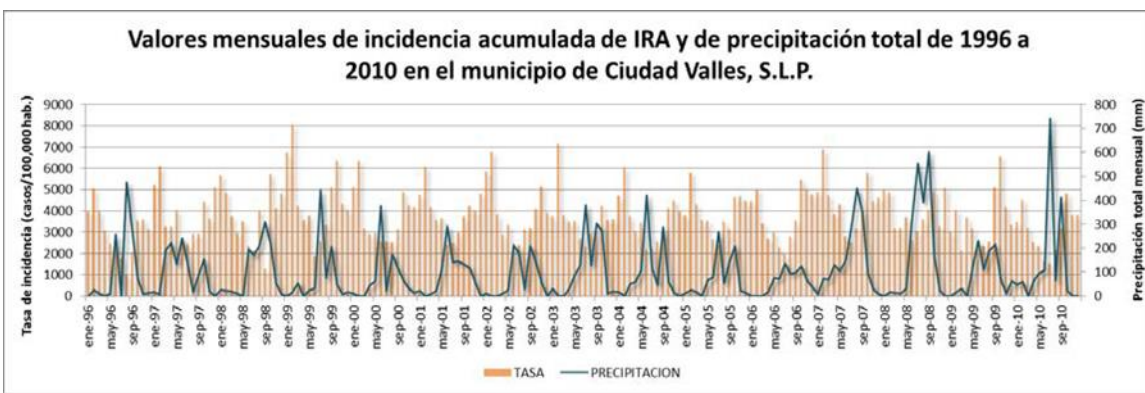


Figura 6.41 Valores mensuales de incidencia acumulada de IRA vs valores mensuales de precipitación total durante el periodo de 1996 a 2010 en el municipio de Ciudad Valles, S.L.P.

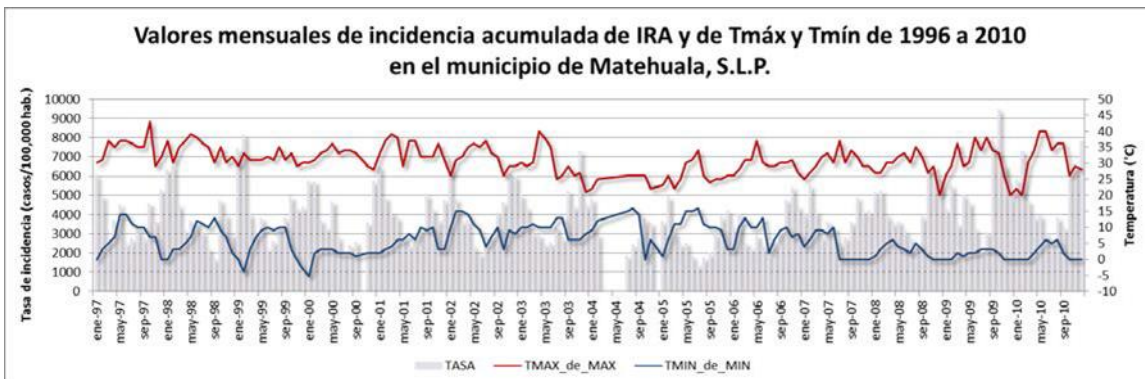


Figura 6.42 Valores mensuales de incidencia acumulada de IRA vs valores mensuales de temperatura máxima y mínima durante el periodo de 1996 a 2010 en el municipio de Matehuala, S.L.P.

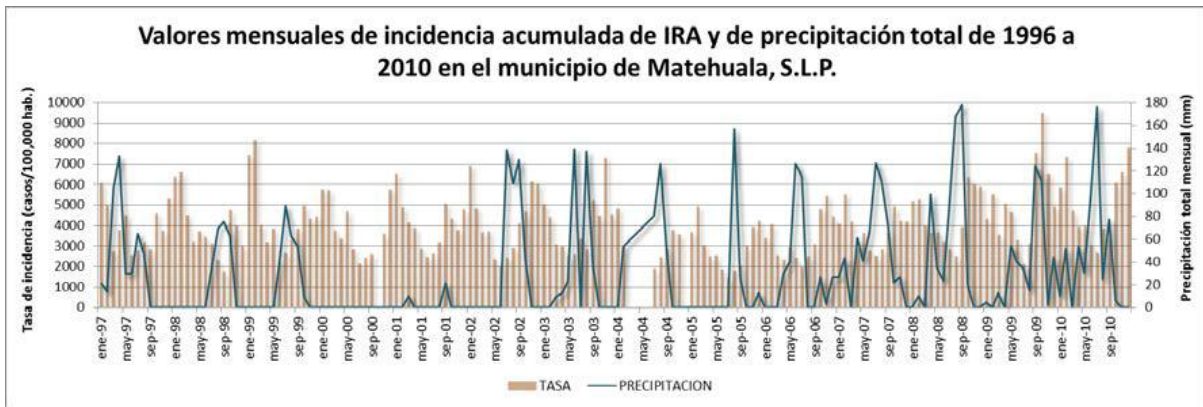


Figura 6.43 Valores mensuales de incidencia acumulada de IRA vs valores mensuales de precipitación total durante el periodo de 1996 a 2010 en el municipio de Matehuala, S.L.P.

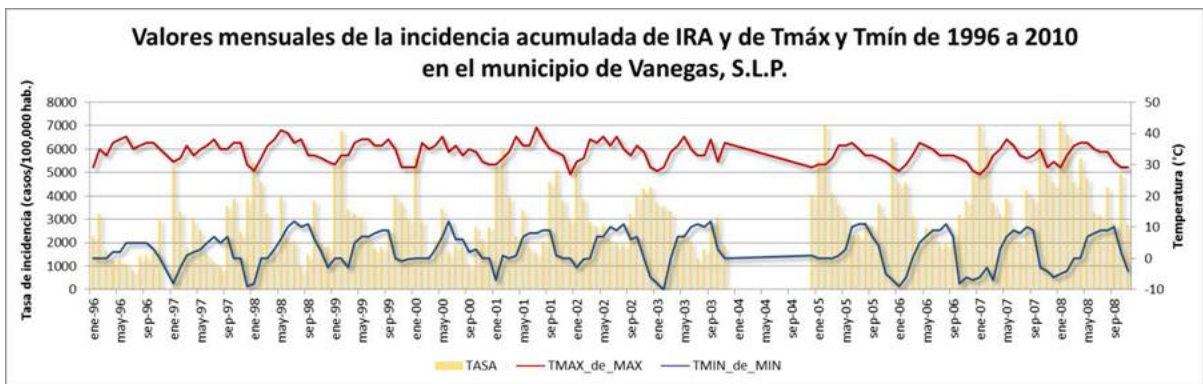


Figura 6.44 Valores mensuales de incidencia acumulada de IRA vs valores mensuales de temperatura máxima y mínima durante el periodo de 1996 a 2010 en el municipio de Vanegas, S.L.P.

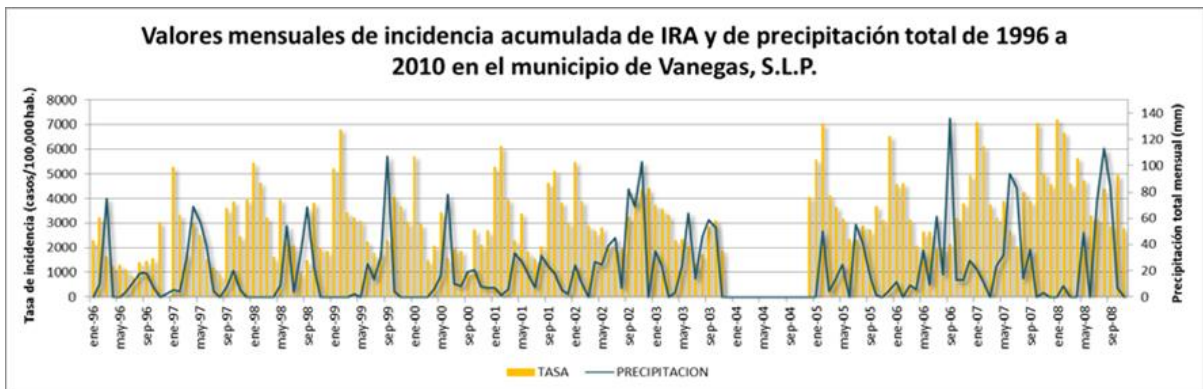
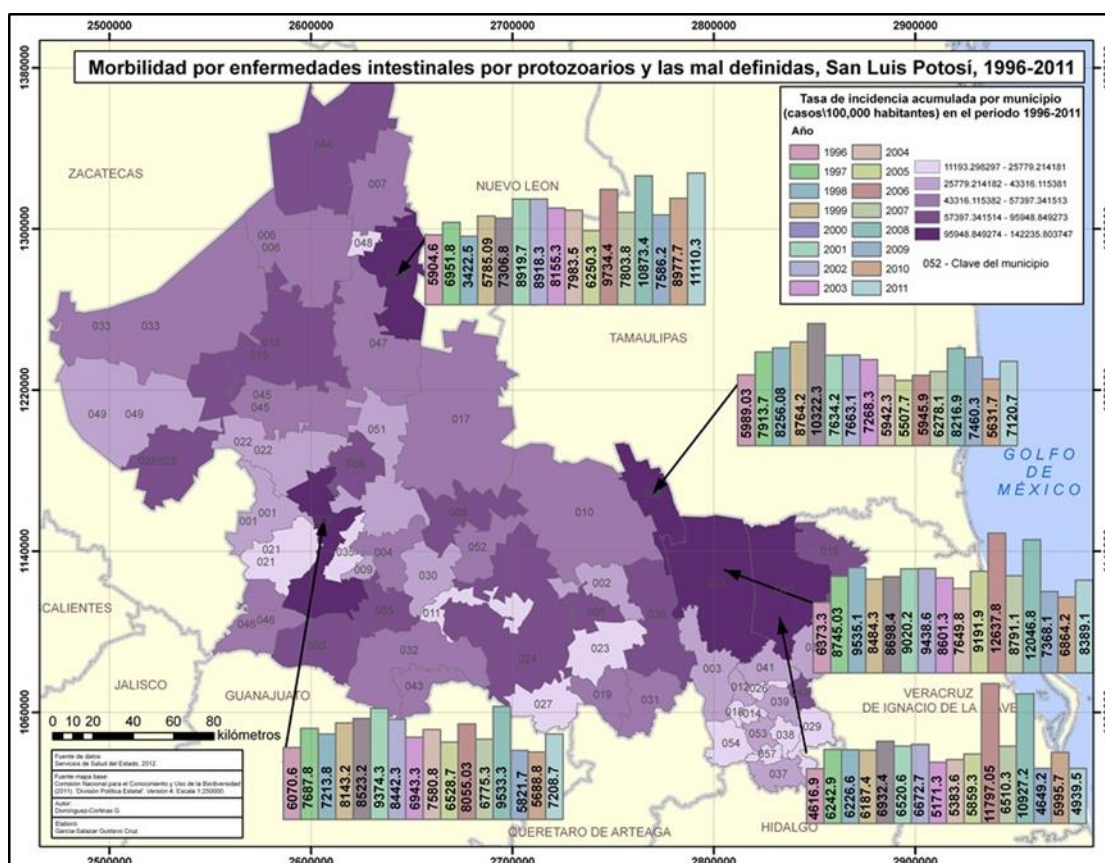


Figura 6.45 Valores mensuales de incidencia acumulada de IRA vs valores mensuales de precipitación total durante el periodo de 1996 a 2010 en el municipio de Vanegas, S.L.P.

Las infecciones intestinales se ubicaron el segundo lugar estatal de acuerdo a sus altas tasas de incidencia acumulada en todo el periodo de estudio, siendo los años con las mayores tasas, 2006 (219 014/100 000 hab.), 2008 (235 582/100 000 hab.) y 2011 (237 463/100 000 hab.) (Mapa 6.45). Al igual que las IRA, las infecciones intestinales mostraron una amplia distribución en el Estado, afectando a los 58

municipios del mismo. Los municipios que presentaron las tasas de incidencia acumulada más altas fueron, Ciudad Valles (142 236/100 000 hab.), Matehuala (129 750/100 000 hab.), San Luis Potosí (119 592/100 000 hab.) y El Naranjo (115 915/100 000 hab.), y los que presentaron las tasas más bajas, Tampacán (11 193/100 000 hab.), Ciudad Fernández (12 531/100 000 hab.) y Coxcatlán (13 642/100 000 hab.) (Figura 6.46).



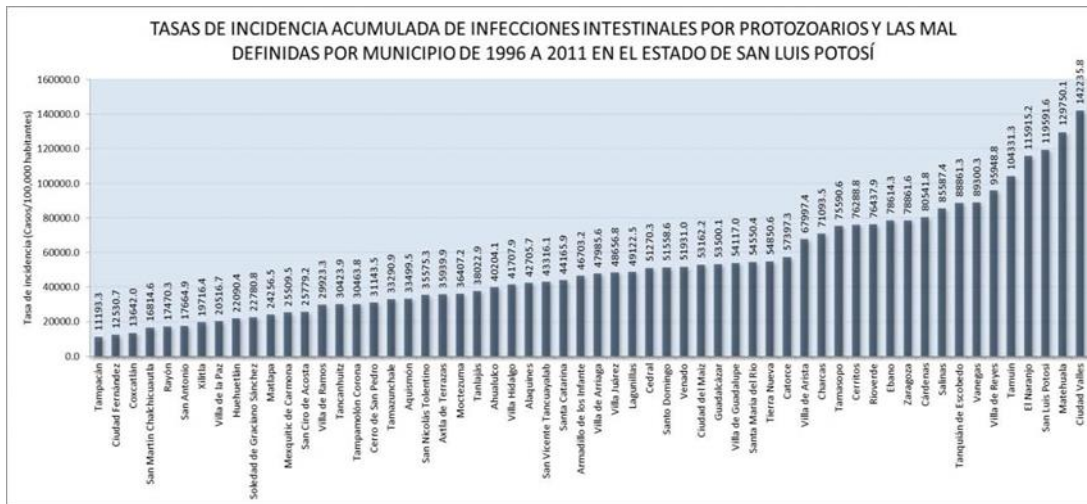


Figura 6.46 Tasas de incidencia acumulada de infecciones intestinales por municipio en el estado de San Luis Potosí durante el periodo de 1996 a 2011.

Con respecto a las tendencias de las infecciones intestinales, el 83% de los municipios (48/58), mostraron tendencias al aumento de la enfermedad, mientras que solo el 17% (10/58) presentaron tendencias a la baja. Los municipios con las tendencias positivas más altas fueron, Villa de Arista (m= 420,5), Charcas (m= 342,6), Rioverde (m=340,9) y Santo Domingo (m= 316,6); mientras que los municipios con las tendencias más negativas fueron, Tanquián de Escobedo (m=-344,2) y El Naranjo (m=-104,3) (Figura 6.47).

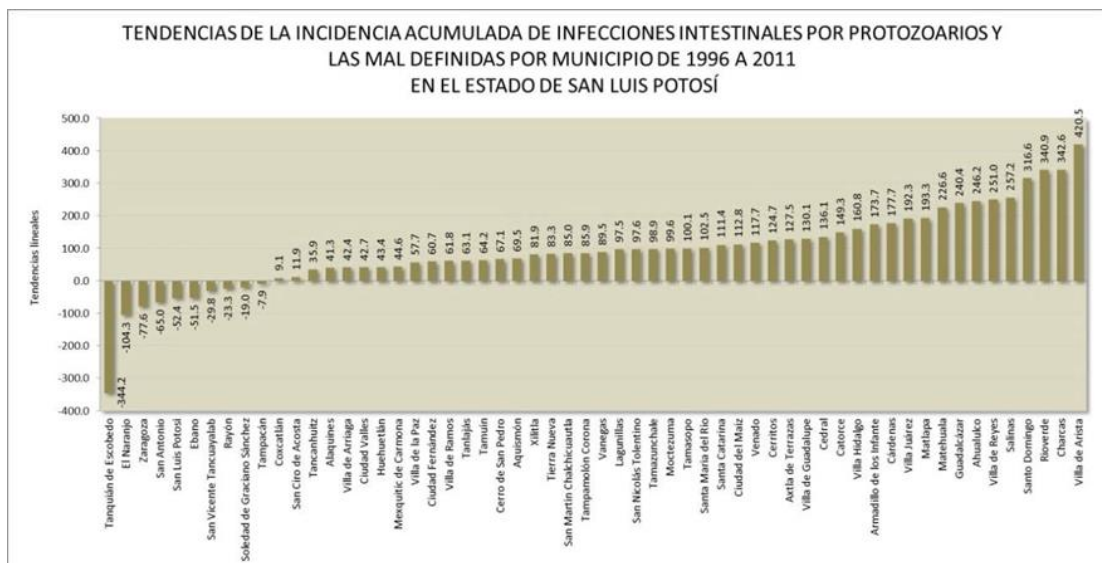
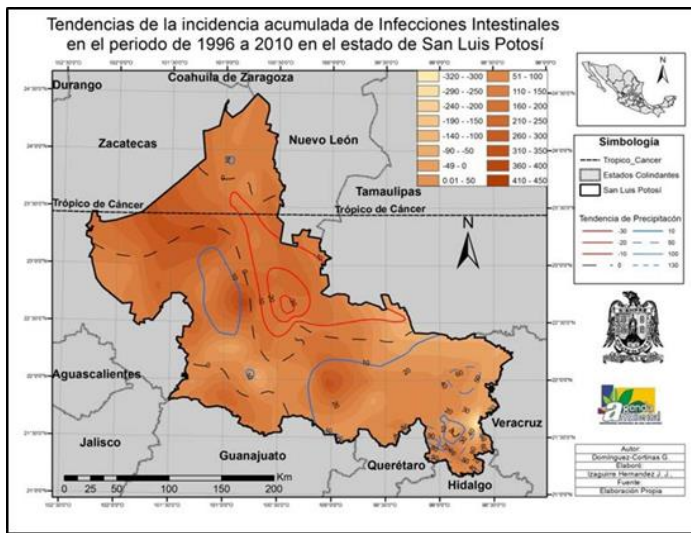
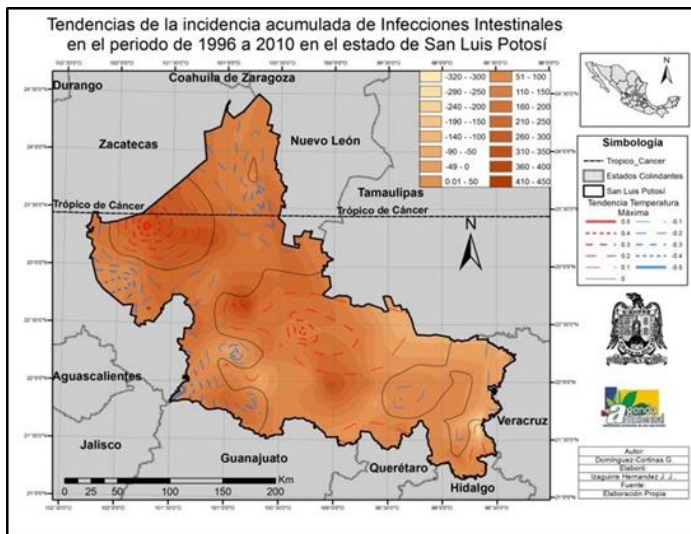


Figura 6.47 Tendencias de la incidencia acumulada de infecciones intestinales por municipio en el estado de San Luis Potosí durante el periodo de 1996 a 2011.

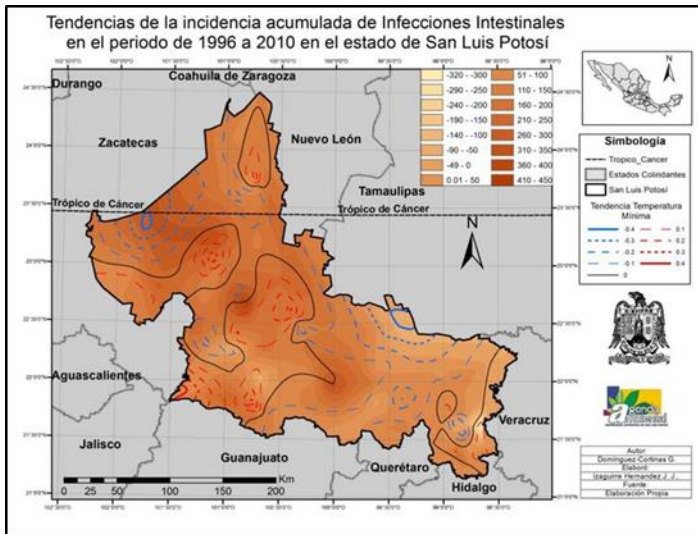
El empate del conjunto de datos climáticos con las tasas de incidencia acumulada de las infecciones intestinales considerando todo el Estado y los 16 años de análisis, mostró un traslape entre los municipios con tendencias al aumento de los días y noches más calientes (aumento de Tx y Tn) y más lluviosos (aumento de Pp) con el 41% de los municipios que también presentaron tendencias al aumento de la incidencia de las infecciones intestinales (Mapas 6.47, 6.47 y 6.48). Apoyando esto, logramos identificar correlaciones positivas y estadísticamente significativas entre la temperatura máxima (días más calientes) y la mayor incidencia de la enfermedad a nivel estatal (Spearman=Tx=0,327*; p=0,016).



Mapa 6.46 Tendencias de la morbilidad por infecciones intestinales vs tendencias de la precipitación total durante el periodo de 1996 a 2011 en el estado de San Luis Potosí.



Mapa 6.47 Tendencias de la morbilidad por infecciones intestinales vs tendencias de la temperatura máxima promedio durante el periodo de 1996 a 2011 en el estado de San Luis Potosí.



Mapa 6.48 Tendencias de la morbilidad por infecciones intestinales vs tendencias de la temperatura mínima promedio durante el periodo de 1996 a 2011 en el estado de San Luis Potosí.

Asimismo, a nivel municipal, también fueron encontradas varias correlaciones (Spearman) positivas con significancia estadística, no solo con la temperatura máxima, sino también con la precipitación y la temperatura mínima, lo que sugiere un aumento de las tasas de incidencia de las infecciones intestinales en los días y noches más calientes y lluviosos.

Este fue el caso de los municipios de Matehuala ($T_x=0,237^{**}$; $P_p=0,336^{**}$; $T_n=0,199^*$; $p=0,002$; $0,000$; $0,011$), Villa de Arista ($T_x=0,303^{**}$; $P_p=0,360^{**}$; $T_n=0,432^{**}$; $p=0,000$; $0,000$; $0,000$), Villa de Reyes ($T_x=0,371^{**}$; $P_p=0,329^{**}$; $T_n=0,515^{**}$; $p=0,000$; $0,000$; $0,000$), Ciudad Valles ($T_x=0,190^*$; $T_n=0,187^{**}$; $p=0,011$; $0,012$) y El Naranjo ($T_x=0,170^*$; $p=0,040$).

Las Figuras 6.48, 6.49, 6.50, 6.51, 6.52 y 6.53 muestran el traslape de los meses en los que hubo un aumento de la temperatura máxima y mínima, así como una mayor precipitación, con los meses en que se registraron las mayores tasas de incidencia de infecciones intestinales en los municipios de Matehuala, Villa de Arista y Villa de Reyes, durante los 16 años evaluados.

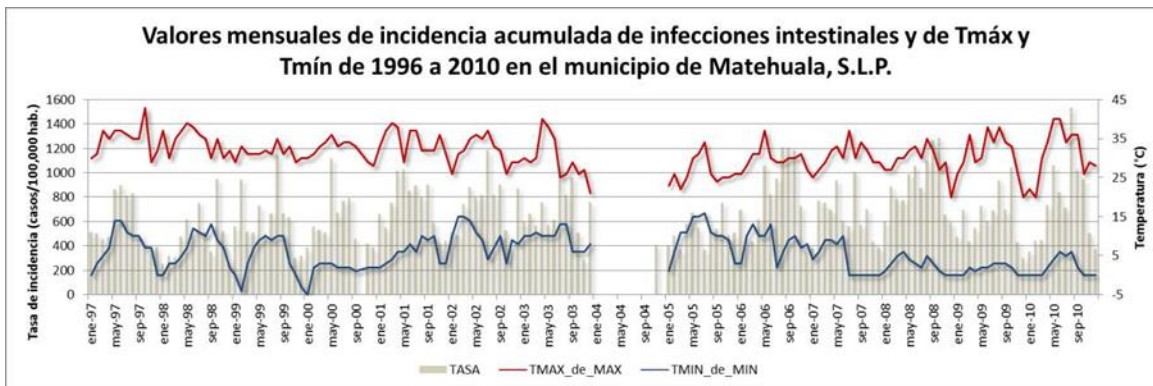


Figura 6.48 Valores mensuales de incidencia acumulada de infecciones intestinales vs valores mensuales de temperatura máxima y mínima durante el periodo de 1996 a 2010 en el municipio de Matehuala, S.L.P.

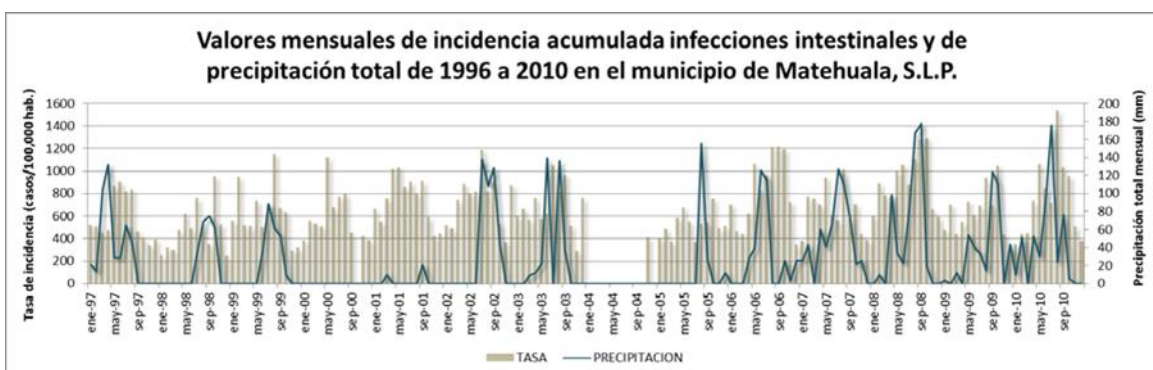


Figura 6.49 Valores mensuales de incidencia acumulada de infecciones intestinales vs valores mensuales de precipitación total durante el periodo de 1996 a 2010 en el municipio de Matehuala, S.L.P.

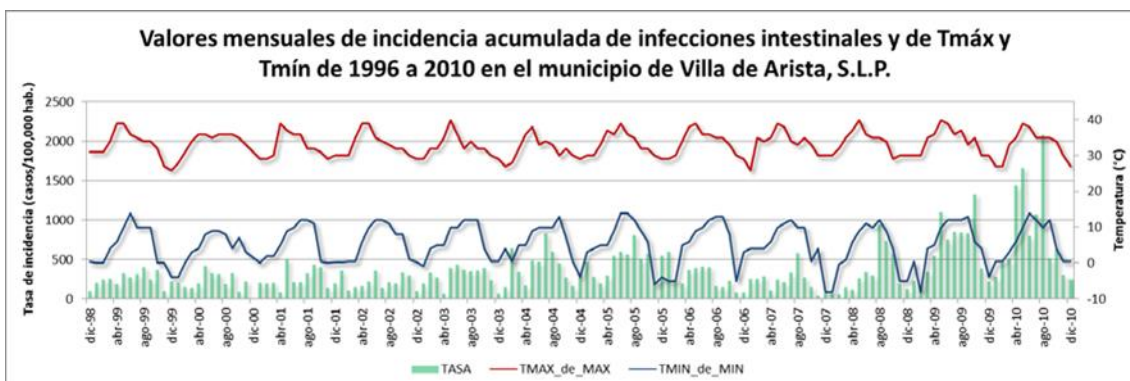


Figura 6.50 Valores mensuales de incidencia acumulada de infecciones intestinales vs valores mensuales de temperatura máxima y mínima durante el periodo de 1996 a 2010 en el municipio de Villa de Arista, S.L.P.

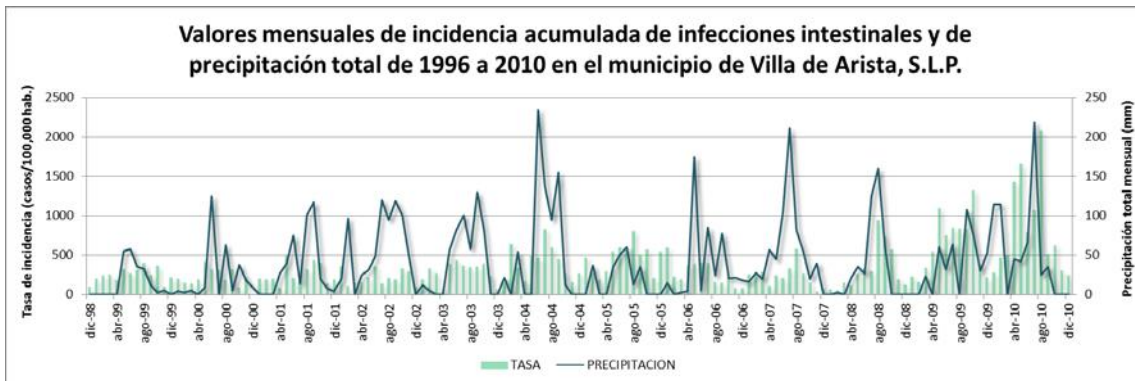


Figura 6.51 Valores mensuales de incidencia acumulada de infecciones intestinales vs valores mensuales de precipitación total durante el periodo de 1996 a 2010 en el municipio de Villa de Arista, S.L.P.

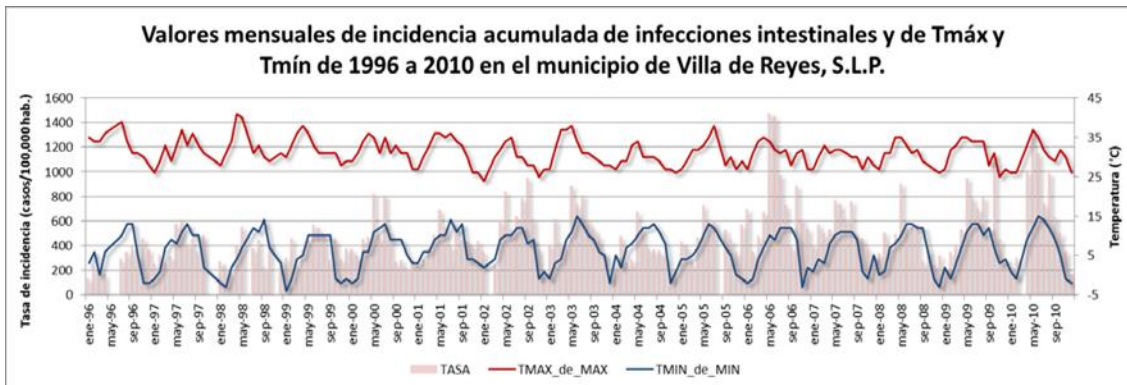


Figura 56.2 Valores mensuales de incidencia acumulada de infecciones intestinales vs valores mensuales de temperatura máxima y mínima durante el periodo de 1996 a 2010 en el municipio de Villa de Reyes, S.L.P.

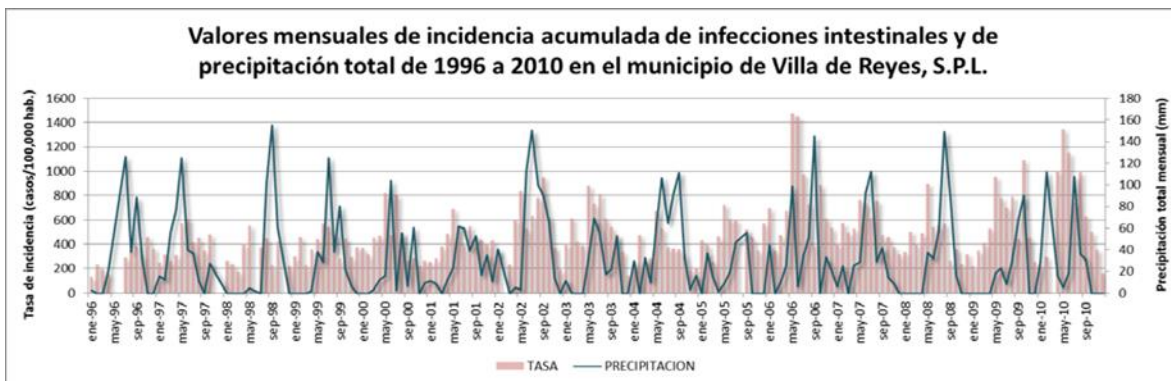
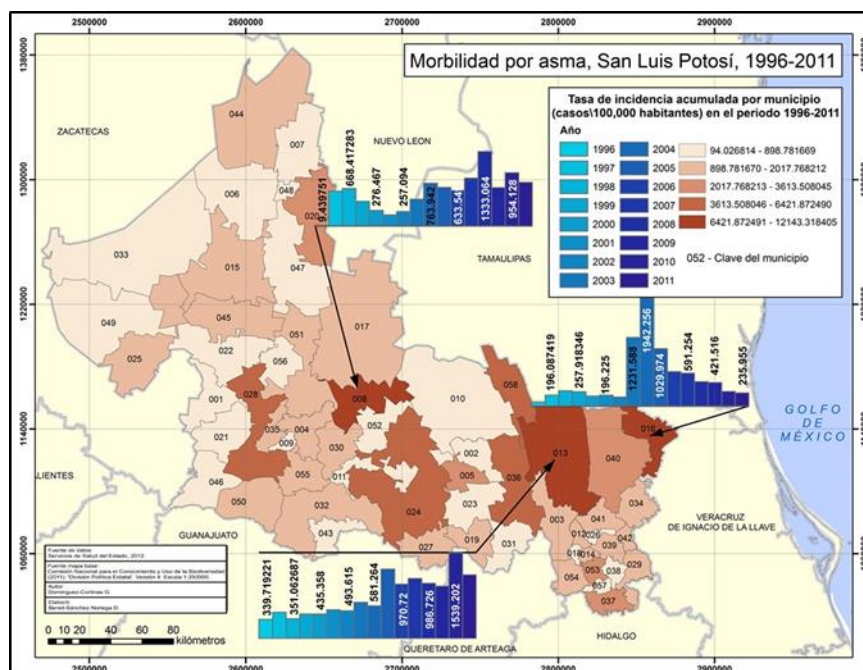


Figura 6.53 Valores mensuales de incidencia acumulada de infecciones intestinales vs valores mensuales de precipitación total durante el periodo de 1996 a 2010 en el municipio de Villa de Reyes, S.L.P.

Pasando a otra enfermedad, un hallazgo interesante en el estudio fueron las altas tasas de incidencia acumulada de asma identificadas a nivel estatal y durante los 16 años analizados, colocándose en el sexto lugar de las enfermedades con mayores

tasas de incidencia del Estado, además de haber presentado una tendencia positiva de interés en términos epidemiológicos. Los patrones de distribución espacial y temporal del asma, mostraron los años con las mayores tasas de incidencia acumulada en, 2005 (253,2/100 000 hab.), 2007 (255,6/100 000 hab.), 2009 (265,8/100 000 hab.) y 2010 (319,6/100 000 hab.), y los municipios con las mayores tasas acumuladas fueron, Ciudad Valles (758,7/100 000 hab.), Cerritos (577,0/100 000 hab.), Ébano (489,4/100 000 hab.) y El Naranjo (378,2/100 000 hab.). Las tasas más bajas se identificaron en los municipios de Mexquitic de Carmona (5,5/100 000 hab.), Cerro de San Pedro (8,1/100 000 hab.), Villa de Juárez (10,9/100 000 hab.) y Villa de la Paz (11,7/100 000 hab.) (Mapa 6.49, Figura 6.54).



Mapa 6.49 Distribución de la morbilidad por asma en el estado de San Luis Potosí en el periodo de 1996 a 2011.

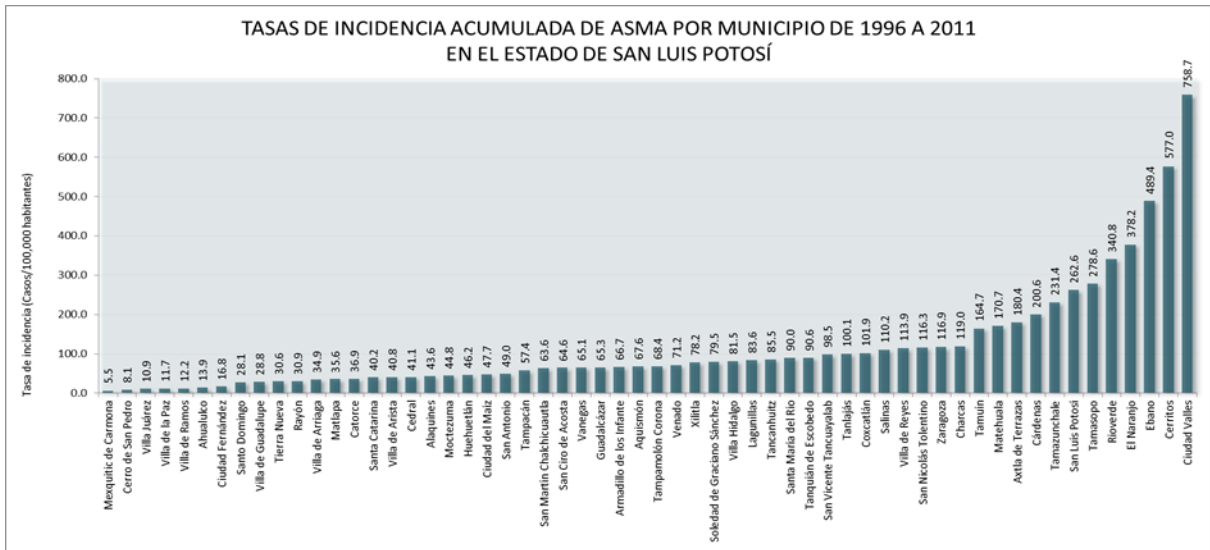


Figura 6.54 Tasas de incidencia acumulada de asma por municipio en el estado de San Luis Potosí durante el periodo de 1996 a 2011.

Los resultados de las tendencias de la enfermedad durante el periodo de estudio, mostraron a un 69% de los municipios del Estado (40/58) con tendencias positivas, siendo los que presentaron las mayores tendencias al aumento de la incidencia del asma, Ciudad Valles ($m= 62,9$), Rioverde ($m= 41,22$) y Cerritos ($m= 41,13$). Los municipios con las principales tendencias negativas fueron, El Naranjo ($m= -23,35$), Cárdenas ($m= -13,65$) y Tamasopo ($m= -12,64$) (Figura 6.55).

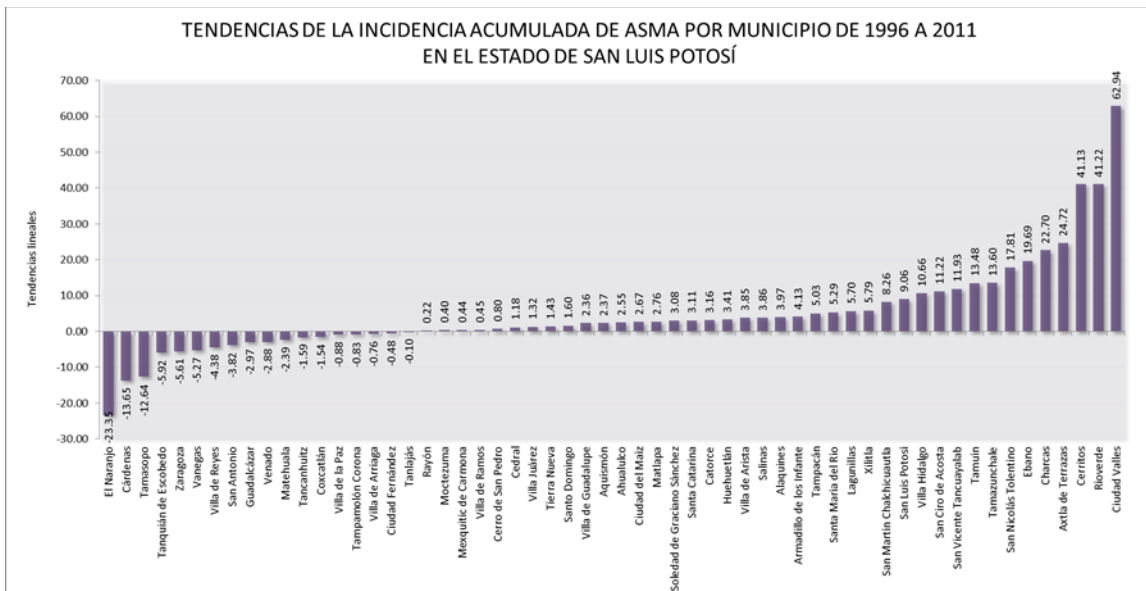
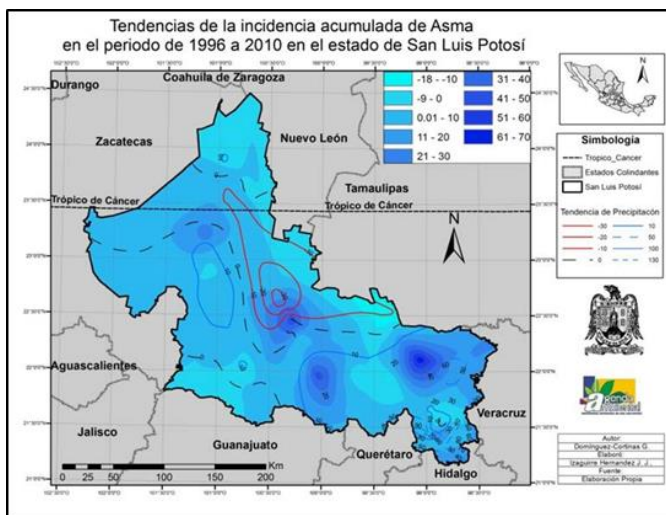
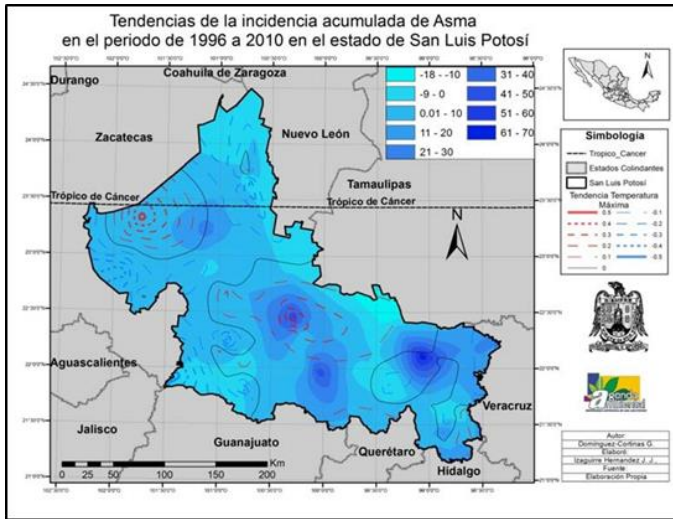


Figura 6.55 Tendencias de la incidencia acumulada de asma por municipio en el estado de San Luis Potosí durante el periodo de 1996 a 2011.

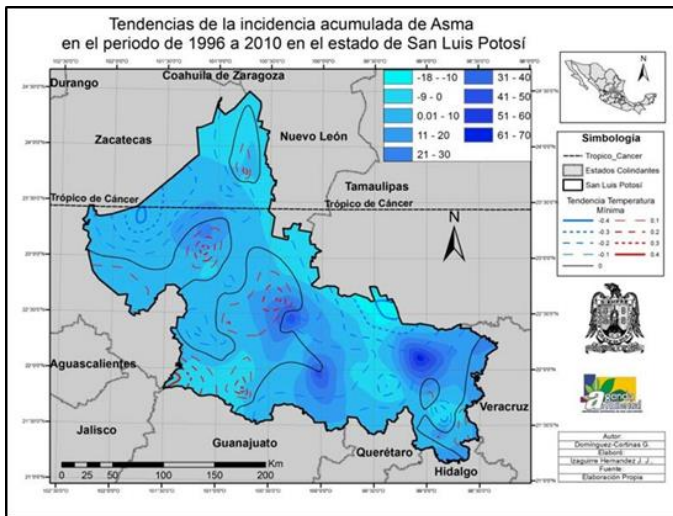
De acuerdo a la etiología del asma, los factores climáticos como la temperatura, la humedad y la precipitación representan un riesgo para la enfermedad, tanto cuando éstos propician ambientes fríos y secos, como cuando propician ambientes calientes y húmedos que favorecen entre otras cosas, la proliferación de polen. De acuerdo a esto, el análisis de las tendencias climáticas con las tendencias de las tasas de incidencia acumulada de asma en la entidad, arrojó resultados que mostraron coincidencias entre las tendencias al aumento de asma y las tendencias al aumento de días y noches más fríos, o días y noches más calientes, con aumento o disminución de la precipitación. En este sentido, el 34% de los municipios con tendencias al aumento de la incidencia de asma en el Estado, también mostraron tendencias climáticas consideradas de alto riesgo para el desarrollo de la enfermedad (Mapas 6.50, 6.51 y 6.52).



Mapa 6.50 Tendencias de la morbilidad por asma vs tendencias de la precipitación total durante el periodo de 1996 a 2011 en el estado de San Luis Potosí.



Mapa 6.51 Tendencias de la morbilidad por asma vs tendencias de la temperatura máxima promedio durante el periodo de 1996 a 2011 en el estado de San Luis Potosí.



Mapa 6.52 Tendencias de la morbilidad por asma vs tendencias de la temperatura mínima promedio durante el periodo de 1996 a 2011 en el estado de San San Luis Potosí.

Las pruebas de correlación de Spearman entre los grupos de datos climáticos y de morbilidad a nivel estatal resultaron positivas y significativas para ambas temperaturas, máxima y mínima, así como para la precipitación ($T_x=0,555^{**}$; $P_p=0,761^{**}$; $T_n=0,528^{**}$; $p=0,000$; $0,000$; $0,000$).

También se encontraron correlaciones significativas positivas y negativas (según condiciones locales) al interior de algunos municipios; este fue el caso de, Ciudad Valles ($T_x=-0,352^{**}$; $P_p=-0,289^{**}$; $T_n=-0,495^{**}$; $p=0,000$; $0,000$; $0,000$), El Naranjo ($T_x=-0,241^{**}$; $P_p=-0,336^{**}$; $T_n=-0,262^{**}$; $p=0,003$; $0,000$; $0,001$), Rioverde ($T_x=-0,209^{**}$; $T_n=-0,218^{**}$; $p=0,005$; $0,004$), Ébano ($T_x=-0,344^{**}$; $T_n=-0,264^{**}$; $p=0,000$; $0,000$), y Cerritos ($T_x=0,215^{**}$; $P_p=-0,150^{*}$; $T_n=-0,231^{**}$; $p=0,004$; $0,044$; $0,002$) (Figuras 5.56, 6.57, 6.58, 6.59, 6.60, 6.61, 6.62).

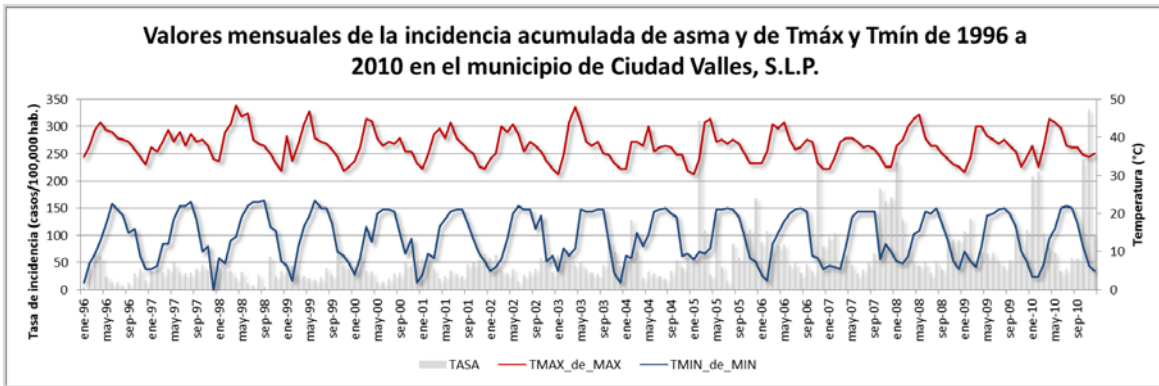


Figura 6.56 Valores mensuales de incidencia acumulada de asma vs valores mensuales de temperatura máxima y mínima durante el periodo de 1996 a 2010 en el municipio de Ciudad Valles, S.L.P.

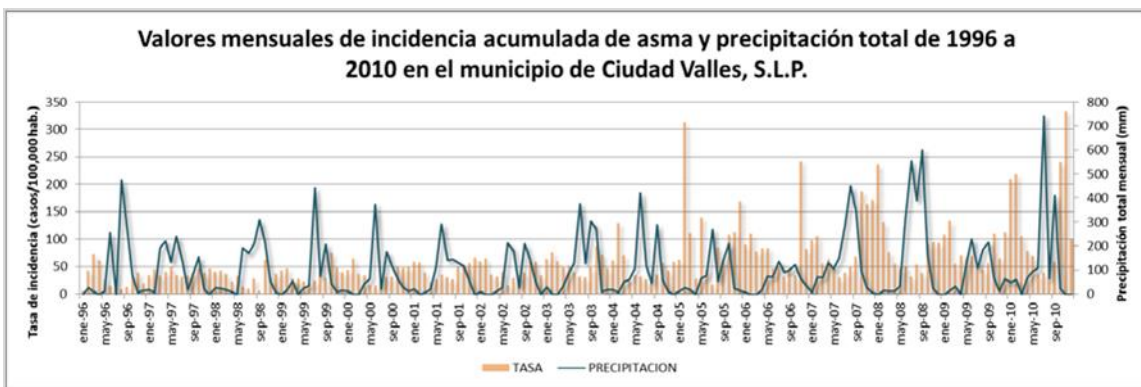


Figura 6.57 Valores mensuales de incidencia acumulada de asma vs valores mensuales de precipitación total durante el periodo de 1996 a 2010 en el municipio de Ciudad Valles, S.L.P.

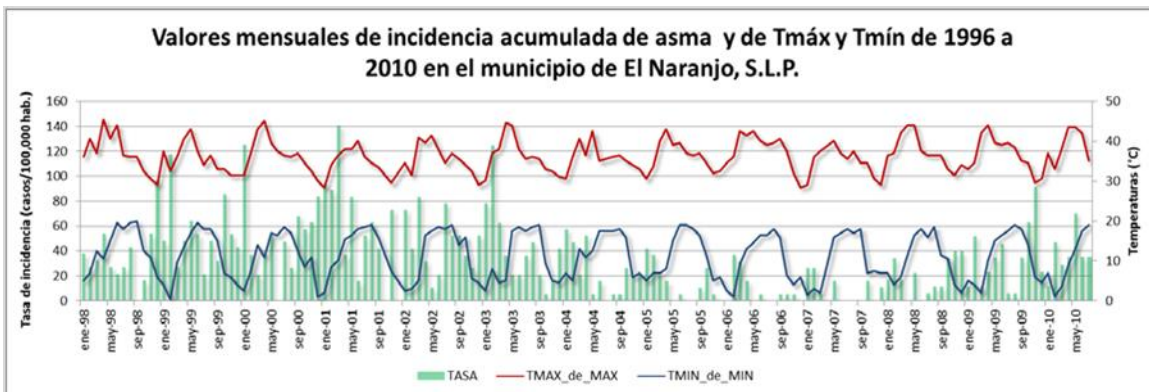


Figura 6.58 Valores mensuales de incidencia acumulada de asma vs valores mensuales de temperatura máxima y mínima durante el periodo de 1996 a 2010 en el municipio de El Naranjo, S.L.P.

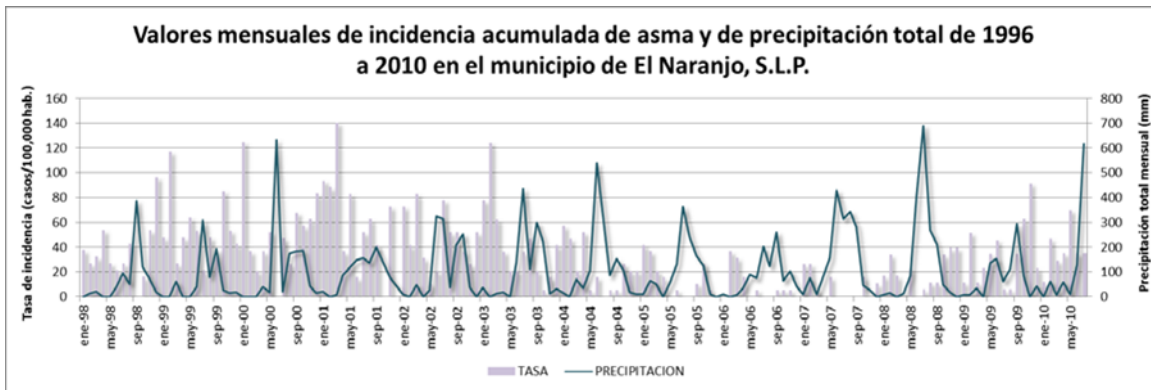


Figura 6.59 Valores mensuales de incidencia acumulada de asma vs valores mensuales de precipitación total durante el periodo de 1996 a 2010 en el municipio El Naranjo, S.L.P.

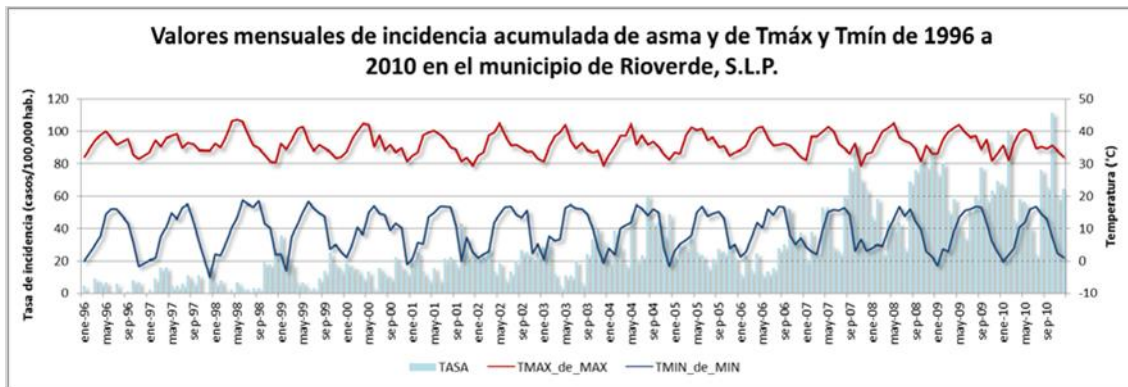


Figura 6.60 Valores mensuales de incidencia acumulada de asma vs valores mensuales de temperatura máxima y mínima durante el periodo de 1996 a 2010 en el municipio de Rioverde, S.L.P.

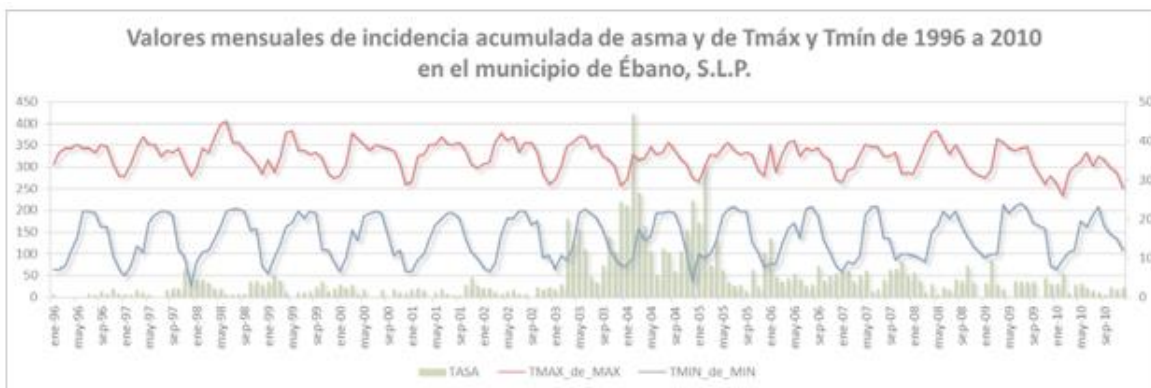


Figura 6.61 Valores mensuales de incidencia acumulada de asma vs valores mensuales de temperatura máxima y mínima durante el periodo de 1996 a 2010 en el municipio de Ébano, S.L.P.

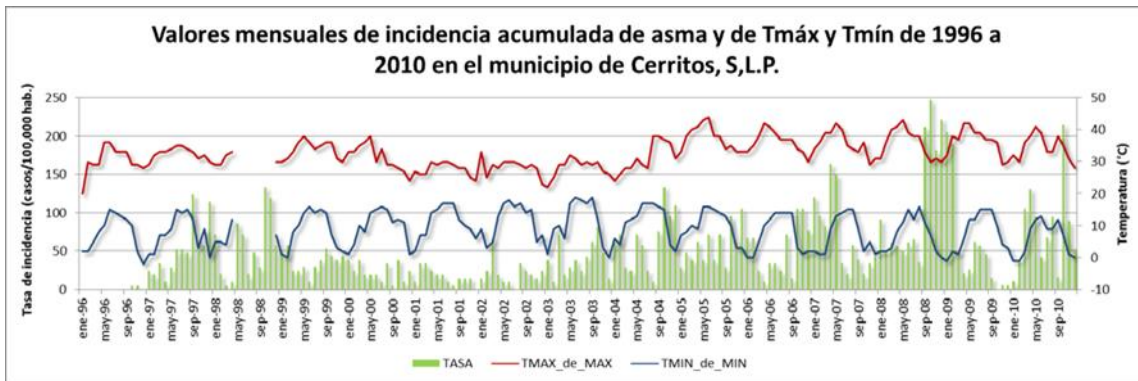


Figura 6.62 Valores mensuales de incidencia acumulada de asma vs valores mensuales de temperatura máxima y mínima durante el periodo de 1996 a 2010 en el municipio de Cerritos, S.L.P.

Finalmente, siendo la segunda enfermedad transmitida por vectores más importante del Estado y dada su importante relación con los elementos climáticos, se realizó un análisis de la enfermedad de Chagas, la cual presentó una tasa de incidencia acumulada a nivel estatal y durante todo el periodo de estudio, de 0,512/100 000 hab., con una tendencia importante al aumento de casos ($m=-0,0758$; $R^2=0,5382$) (Figura 61), siendo los años de 2003 (1,18/100 000 hab.), 2008 (1,19/100 000 hab.) y 2010 (1,12/100 000 hab.) los que presentaron las mayores tasas de incidencia acumulada de todo el periodo de estudio.

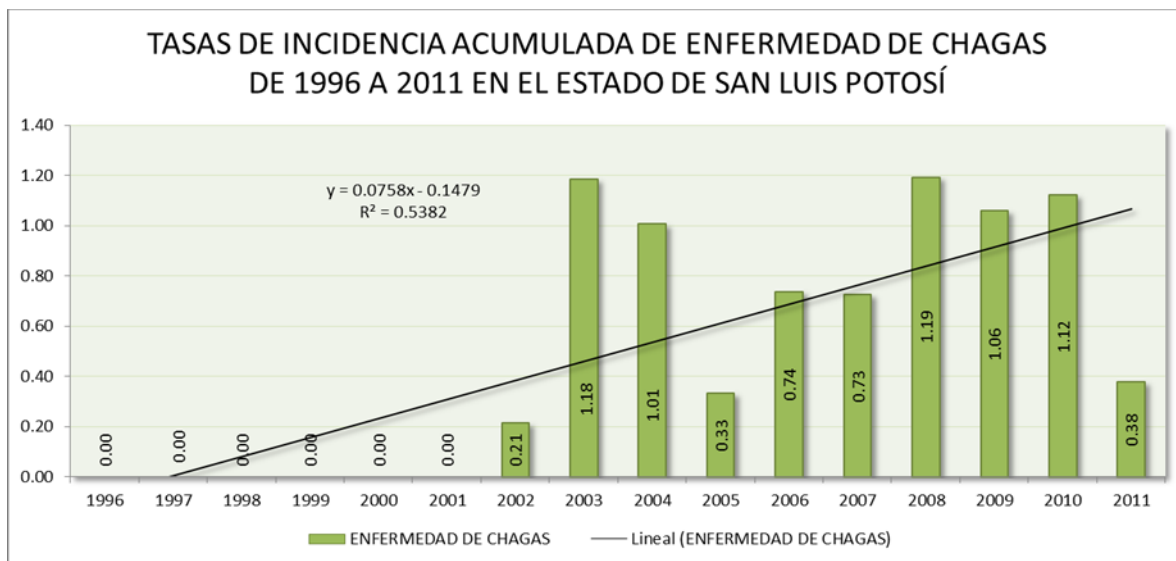
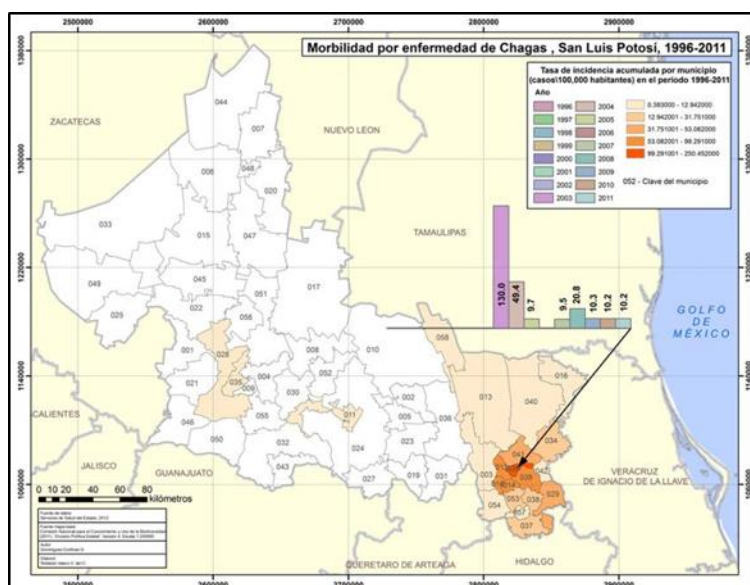


Figura 6.63 Tendencias de las tasas incidencia acumulada de enfermedad de Chagas en el estado de San Luis Potosí en el periodo de 1996 a 2011.

De acuerdo análisis de la distribución espacial de la enfermedad, solo 22 municipios de la entidad (38%), tuvieron registros de casos, siendo los que concentraron las mayores tasas de incidencia acumulada de Chagas en los 15 años evaluados, San Antonio (16,35/100 000 hab.), Coxcatlán (6,37/100 000 hab.), Tampamolón Corona (5,74/100 000 hab.) y Tancanhuitz (5,72/100 000 hab.). Por el contrario, los municipios con las más bajas tasas de incidencia fueron, Soledad de Graciano Sánchez (0,03/100 000 hab.) y San Luis Potosí (0,04/100 000 hab.) (Mapa 6.53, Figura 6.64).



Mapa 6.53 Distribución de la morbilidad por enfermedad de Chagas en el estado de San Luis Potosí en el periodo de 1996 a 2011.

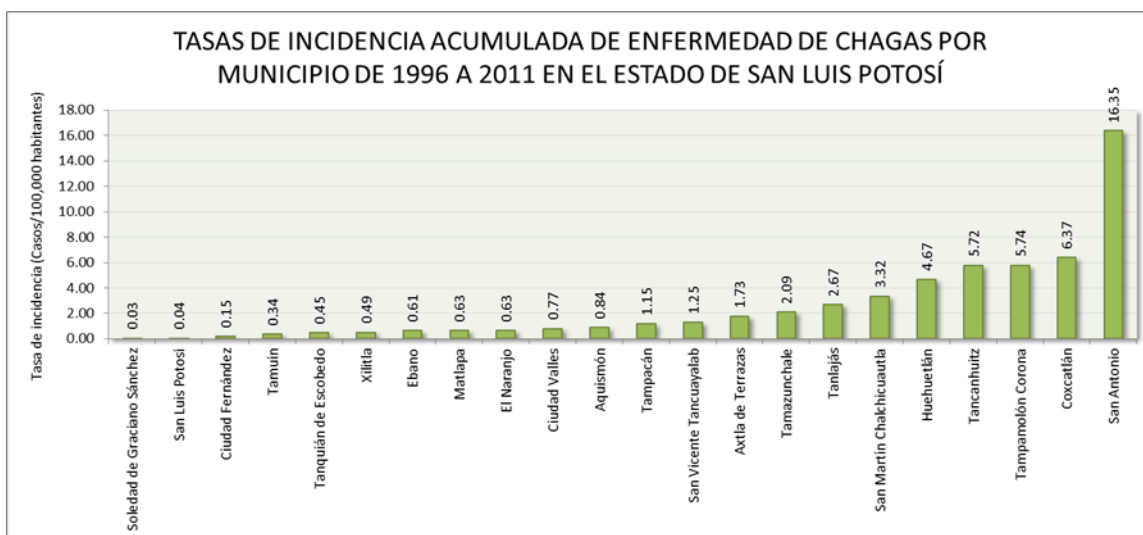


Figura 6.64 Tasa de incidencia acumulada de la enfermedad de Chagas por municipio de 1996 a 2011 en el estado de San Luis Potosí.

No obstante, cabe señalar que de los 22 municipios con casos de dicha enfermedad registrados en todo el Estado, el 86% correspondieron a la región Huasteca, y de éstos, el 82% mostraron tendencias al aumento de las tasas de incidencia de Chagas, siendo los municipios con las mayores tendencias, Axtla de Terrazas ($m=0,67$), Tancanhuitz ($m=0,56$), Tampamolón Corona ($m=0,55$), San Martín Chalchicuautla ($m=0,48$), Tanlajás ($m=0,46$) y Huehuetlán ($m=0,44$). Cabe señalar que el único municipio que mostró una tendencia franca a la baja fue San Antonio ($m=5,45$) (Figura 6.65).

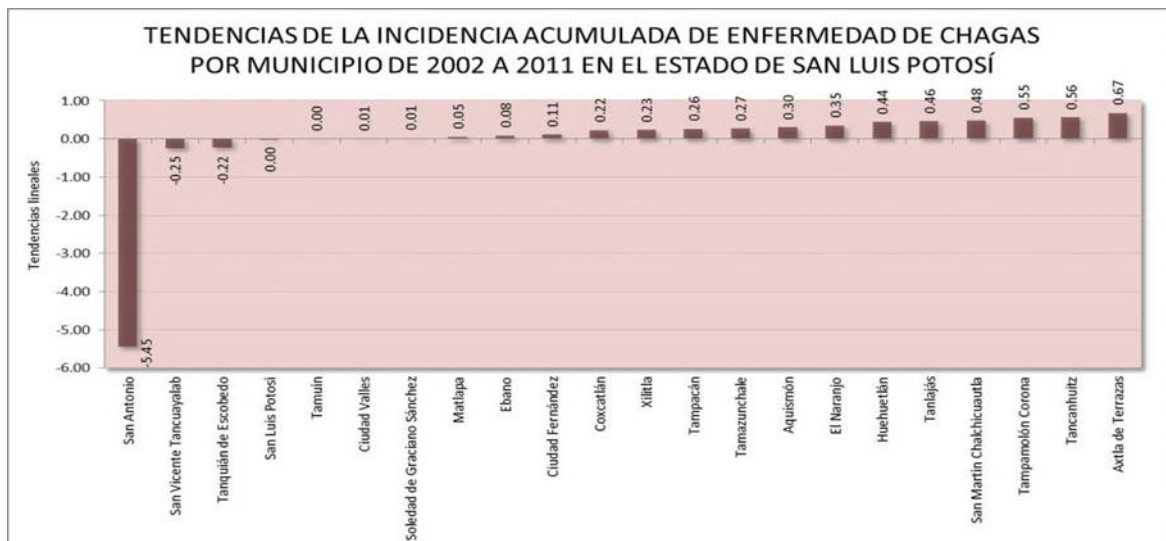
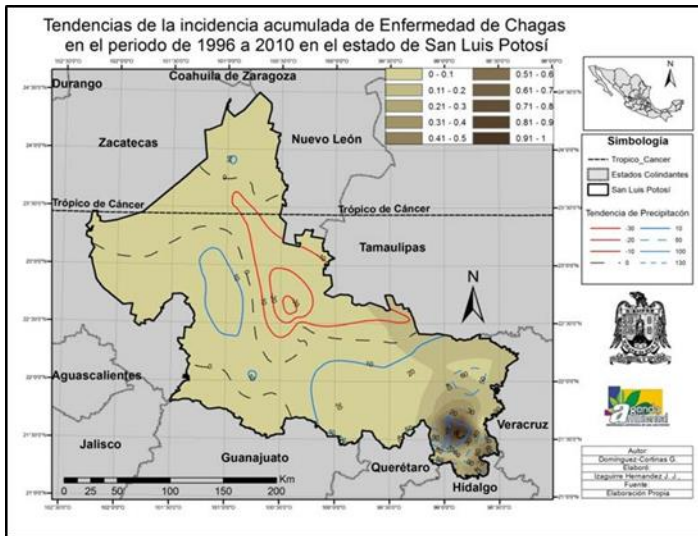
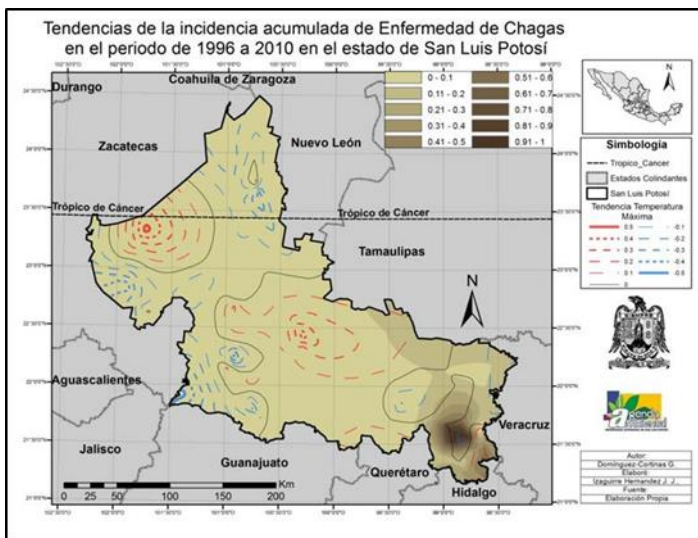


Figura 6.65 Tendencias de la incidencia acumulada de enfermedad de Chagas por municipio de 2002 a 2011 en el estado de San Luis Potosí.

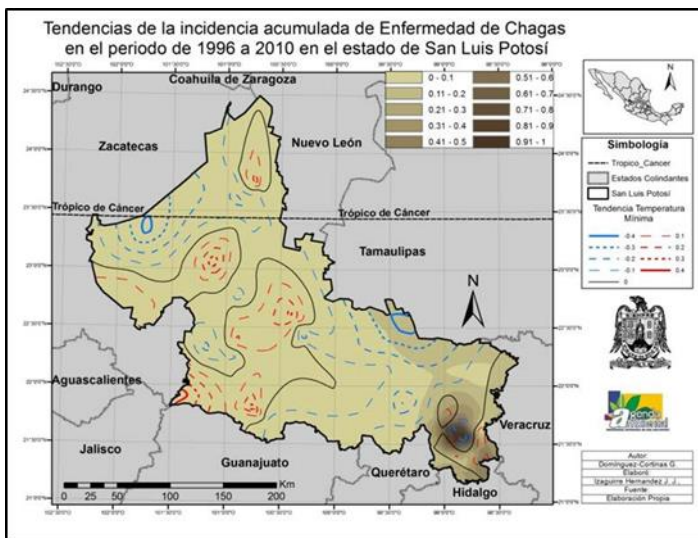
Dados los patrones climáticos predominantes identificados en la Huasteca, como son el aumento de días y noches calientes con más lluvia, mismos que favorecen la incidencia de Chagas, se identificó un traslape entre los municipios que presentaron dicha condición climática con el 44% de los municipios de mostraron tendencias al aumento de las tasas de incidencia acumulada (Mapas 6.54, 6.55 y 6.56). Apoyando lo anterior, se obtuvieron coeficientes de correlación estadísticamente significativos entre los datos climáticos y las tasas de incidencia acumulada de la enfermedad de Chagas en el Estado y durante el periodo evaluado (Spearman= $T_x=0,386^{**}$; $P_p=0,378^{**}$; $T_n=0,279^*$; $p=0,004$; $0,005$; $0,041$).



Mapa 6.54 Tendencias de la morbilidad por enfermedad de Chagas vs tendencias de la precipitación total durante el periodo de 1996 a 2011 en el estado de San Luis Potosí.



Mapa 6.55 Tendencias de la morbilidad por enfermedad de Chagas vs tendencias de la temperatura máxima promedio durante el periodo de 1996 a 2011 en el estado de San Luis Potosí.



Mapa 6.56 Tendencias de la morbilidad por enfermedad de Chagas vs tendencias de la temperatura mínima promedio durante el periodo de 1996 a 2011 en el estado de San Luis Potosí.

La información hasta aquí presentada, muestra que del total de la carga de morbilidad identificada en todo el estado de San Luis Potosí, en los 16 años de

estudio, la región Huasteca concentró el 36%, la región Altiplano el 28%, la zona Media el 19% y la zona Centro el 17% (Tabla 6.9).

Tabla 6.9 Porcentajes de las tasas totales de morbilidad acumulada por región y enfermedad en el estado de San Luis Potosí durante el periodo de 1996 a 2011.

Region	Tot enfe=26		Tot tend pos=15																						total			
	↓	↓	↑	↑	↑	↑	↓	↑	↑	↑	↑	↓	↓	↓	↓	↓	↑	↑	↑	↓	↓	↓	↑	↑		↑	↑	
	Cve región	Amebiasis	Ascariasis	Asma	Bruceosis	Dengue c	Dengue h	Giardiasis	Hepatitis A	Inf intest prot	Inf resp agu	Intox alm	Neumo Bronco	Otras helmintiasis	Paratifoidea	Shigelosis	Teniasis	Tifoidea	Tuberculosis	Meningitis	Desnut mod	Desnut sev	Enf Chagas	Sind Coquel	Influ est	Influ AH1N1	Rotavirus	
ALTIPLANO	1	21.9	9.9	14	48.8	0.1	0	22.1	21.1	29.3	28.6	18.8	21.7	9.3	25.3	21.7	38.8	46.8	8.7	8.4	17.7	22.6	0	19.5	32.9	15.9	19.4	28
CENTRO	2	13.4	4.9	12.1	2.8	0	0	14.9	16.8	20.3	16.9	12.1	19.5	10.3	13.1	13.8	13.6	5.3	8.8	16.5	14.9	14.3	0.1	15.7	9.8	14.5	13.2	17
MEDIA	3	17.2	10.2	23.9	43.1	8.9	4.1	17.5	23	18.4	18.8	53.4	22.4	6.9	30.9	17.1	16.7	19.5	15.2	16	19	22.5	0.3	30.2	14.6	15.1	54.6	18.6
HUASTECA	4	47.5	75	49.9	5.3	91	95.9	45.6	39.1	32	35.7	15.8	36.4	73.5	30.7	47.3	31	28.4	67.2	59.1	48.4	40.6	99.6	34.6	42.7	54.5	12.8	36.5
↑	Tendencias positivas																											
↓	Tendencias negativas																											
58% de las enfermedades analizadas mostraron tendencias positivas a nivel estatal																												

Los resultados hasta aquí discutidos, muestran ciertos indicios de una posible relación más o menos tangible (dependiendo de la enfermedad), entre los datos climáticos (temperatura máxima, temperatura mínima y precipitación) y los patrones espaciales y temporales de algunas de las enfermedades evaluadas; sin embargo, no debe perderse de vista que ante un fenómeno tan complejo como lo es la salud-enfermedad, debe buscarse una aproximación multifactorial a partir de la cual sea posible identificar y evaluar las magnitudes individuales y de conjunto de aquellos factores que con un mayor peso van determinando y condicionando el estado de salud o de enfermedad de las poblaciones. Dado lo anterior, fueron incorporados un conjunto de determinantes sociales de la salud relacionados con las enfermedades incluidas en el estudio, y mediante un análisis multivariado fueron identificados los pesos específicos de cada una de las variables sociales y climáticas con respecto a las condiciones de morbilidad identificadas en todo el Estado.

Los resultados del análisis multivariado de componentes principales mostraron un porcentaje de varianza total explicada de 79,9%, extraída en los primeros cuatro componentes, de los cuales el primer componente explica el 49,3% de la varianza de los datos, el segundo componente el 15,3%, el tercer componente el 8,7% y el cuarto componente el 6,6% (Tabla 5).

Tabla 6.10 Extracción de componentes, mostrando la varianza explicada en cada componente y la varianza acumulada de cada eigenvalor.

Varianza total explicada									
Componente	Autovalores iniciales			Sumas de las saturaciones al cuadrado de la extracción			Suma de las saturaciones al cuadrado de la rotación		
	Total	% de la varianza	% acumulado	Total	% de la varianza	% acumulado	Total	% de la varianza	% acumulado
1	7.896	49.353	49.353	7.896	49.353	49.353	6.177	38.605	38.605
2	2.447	15.291	64.644	2.447	15.291	64.644	2.496	15.600	54.204
3	1.399	8.746	73.390	1.399	8.746	73.390	2.121	13.257	67.461
4	1.054	6.588	79.977	1.054	6.588	79.977	2.003	12.516	79.977
5	.789	4.932	84.909						
6	.553	3.456	88.366						
7	.375	2.342	90.707						
8	.344	2.151	92.859						
9	.305	1.907	94.766						
10	.237	1.482	96.248						
11	.201	1.257	97.505						
12	.155	.967	98.472						
13	.125	.781	99.253						
14	.096	.603	99.855						
15	.023	.143	99.999						
16	.000	.001	100.000						

Este porcentaje de varianza acumulada que explican los primeros cuatro componentes, corresponde al conjunto de variables que están determinando con un alto nivel de significancia estadística las condiciones de morbilidad estudiadas, mostrando una estructura jerárquica en la cual el primer componente explica la mayor parte de la condición observada y así sucesivamente.

La matriz de componentes rotada mostró las variables que presentaron los mayores coeficientes de correlación (R) en cada uno de los cuatro componentes extraídos, reflejando la intensidad y el peso de atribución en cada uno de ellos (Tabla 6.11). A partir de dichos coeficientes de correlación se obtuvieron los valores de R² que explican la fuerza de la asociación de cada variable (variables independientes) con la condición de morbilidad (variable dependiente) identificada en el Estado.

Tabla 6.11 Matriz de componentes principales obtenida por el método de rotación Varimax, mostrando las variables con mayor saturación (correlación) por componente extraído.

	Componente				R2
	1	2	3	4	
% de población que sufre pobreza alimentaria	0.9	0.24	0.22	0.143	0.81
Porcentaje de ocupantes en viviendas sin agua entubada	0.884		0.129		0.782
% de población que sufre pobreza de capacidades	0.883	0.236	0.272	0.116	0.779
Porcentaje de ocupantes en viviendas con piso o de tierra con piso	0.819	0.414			0.671
% de población analfabeta de 15 años y mas	0.797	0.116	0.271	0.103	0.636
% de población que sufre pobreza de patrimonio	0.797	0.213	0.39		0.635
Porcentaje de población ocupada con ingreso de hasta 2 salarios	0.738		0.516	0.125	0.544
Porcentaje de viviendas con algún nivel de hacinamiento	0.733	0.291	0.235	0.288	0.537
Promedio de temperatura mínima	0.25	0.875		-0.115	0.765
Promedio de temperatura máxima	0.165	0.837		0.182	0.7
Precipitación total	0.264	0.685	0.129	-0.423	0.469
Unidades de hospitalización en el municipio	-0.272		-0.838	-0.349	0.703
Número de habitantes por cada unidad de consulta externa	-0.413		-0.784		0.614
Número de habitantes por cada persona (personal medico)			0.251	0.794	0.631
Porcentaje de ocupantes en viviendas sin drenaje ni servicios	0.266	-0.343		0.674	0.454
% de población sin derechohabencia a servicios de salud	0.549		-0.14	0.637	0.406

En el primer componente destacaron un total de ocho variables, siendo las de mayor importancia, el porcentaje de población con pobreza alimentaria (R=0,900; R2=0,810), porcentaje de ocupantes en viviendas sin agua entubada (R=0,884; R2=0,782), porcentaje de población con pobreza de capacidades (R=0,883; R2=0,779), porcentaje de ocupantes en viviendas con piso de tierra (R=0,819; R2=0,671), porcentaje de población analfabeta de 15 años y más (R=0,797; R2=0,636), porcentaje de población con pobreza de patrimonio (R=0,797;

R²=0,635), porcentaje de población ocupada con bajo ingreso (hasta 2 salarios mínimos) (R=0,738; R²=0,544) y porcentaje de viviendas con hacinamiento (R=0,733; R²=0,537). En el segundo componente las variables que tuvieron el mayor peso fueron, el promedio de la temperatura mínima (R=0,875; R²=0,765), promedio de la temperatura máxima (R=0,837; R²=0,700) y la precipitación total (R=0,685; R²=0,469). En el tercer componente solo se identificaron dos variables con altos coeficientes de correlación, siendo las correspondientes a las unidades de hospitalización en el municipio (R=-0,838; R²=0,703) y el número de unidades hospitalarias (R=-0,784; R²=0,469); y finalmente en el cuarto componente, con un bajo nivel explicativo, se identificaron las variables referentes a, número de habitantes por personal médico (R=0,794; R²=0,631), porcentaje de ocupantes en viviendas sin drenaje ni servicio sanitario exclusivo (R=0,674; R²=0,454) y porcentaje de población sin derechohabiencia a servicios de salud (R=0,637; R²=0,406).

Estos resultados nos permiten ver que las relaciones multivariadas de los trece determinantes sociales de la salud y las tres variables climáticas evaluadas explican el 80% de la carga de morbilidad identificada en el estado de San Luis Potosí durante los tres años para los que se realizó este análisis (2000, 2005 y 2010).

De acuerdo a esto, podemos ver que la pobreza en cualquiera de sus formas (alimentaria, de capacidades y patrimonial), la falta de acceso a agua potable, las viviendas precarias (piso de tierra), el hacinamiento, los bajos ingresos y la falta de educación (analfabetismo), resultaron ser los factores con mayor peso de atribución respecto a la condición de morbilidad identificada, explicando el 49% del total de la carga de enfermedad. En segundo lugar, aparecieron las tres variables climáticas (temperatura máxima, temperatura mínima y precipitación) con un importante peso de atribución de la carga total de morbilidad del 15%.

En otra lectura de estos resultados podemos decir que la condición de enfermedad identificada en el estado de San Luis Potosí, ha venido siendo determinada en una medida importante, por un conjunto de factores de vulnerabilidad (determinantes sociales de la salud seleccionados) que han mermado la capacidad de respuesta de las poblaciones, ante un conjunto de amenazas climáticas (variables meteorológicas seleccionadas) cuya magnitud e implicaciones apenas vislumbramos. Ahora bien, es importante enfatizar que estos resultados son solo una pequeña aproximación al

entendimiento de una realidad compleja que comprende muchos otros determinantes y amenazas de la salud, que pudieran ser incluso más importantes que los incluidos en este estudio. Por ejemplo, los estilos de vida son factores que determinan y condicionan fuertemente los procesos de salud y enfermedad de las poblaciones, y sin embargo, la falta de información al respecto no permitió su incorporación y análisis. Asimismo, importantes amenazas climáticas para las enfermedades transmitidas por vectores y para las muertes por golpes de calor tales como, los índices de humedad atmosférica y de calor, por ejemplo, tampoco pudieron ser incorporadas dada la incompatibilidad de las escalas de análisis de las mismas.

6.4.9 Conclusiones generales

La presente investigación permitió la generación de diagnósticos de salud a escala estatal, regional y municipal de 29 enfermedades relacionadas directa o indirectamente con los elementos climáticos, por un periodo de 16 años (1996 a 2011). Dichos diagnósticos consistieron básicamente en la identificación de los principales patrones de distribución espacial y temporal de las enfermedades evaluadas, así como en el análisis de las amenazas climáticas y de algunos determinantes sociales de la salud. En este sentido se logró determinar el peso específico (o de atribución) de los elementos climáticos (temperatura máxima, temperatura mínima y precipitación) sobre la condición de la morbilidad y mortalidad identificada a nivel estatal, regional y municipal, dimensionando en términos cuantitativos las posibles implicaciones locales, directas y/o indirectas de la variabilidad y el cambio climático sobre la salud de las poblaciones. Esto ha sido muy esclarecedor en el sentido de permitirnos sentar bases sólidas para el diseño de programas de prevención y alerta temprana perfectamente dirigidos a un tipo de población con una condición social, climática y de salud específica. En este sentido, se justifica ampliamente crear diagnósticos integrales de salud a escalas de alta resolución espacial (locales) que redunden en esquemas de protección civil que prevenga los riesgos a la salud de las poblaciones que se ubican en áreas vulnerables y que además son impactadas por la variabilidad y el cambio climático.

El análisis de todo lo arriba expuesto nos lleva finalmente al planteamiento de algunas consideraciones que pudieran conformar una estrategia de adaptación para la reducción de los impactos de la variabilidad y el cambio climático.

1. Es necesario generar diagnósticos de vulnerabilidad regional, municipal y local, que nos permitan identificar necesidades de adaptación que se correspondan con la magnitud de las amenazas climáticas.
2. Diseñar herramientas metodológicas que permitan por un lado, la generación de nuevas evidencias sobre los impactos de la variabilidad y el cambio climático sobre la salud de las poblaciones, y por el otro, el desarrollo de estudios de línea base a escala local para dar seguimiento y evaluar los resultados de las medidas de adaptación al cambio climático implementadas.
3. Diseñar programas de prevención que informen y alerten a la población sobre su condición de vulnerabilidad y sus consecuencias ante las emergencias de la variabilidad y el cambio climático, y que además promuevan una cultura de autocuidado.

6.5 CIUDADES Y SU ÁREA DE SERVIDUMBRE ECOLÓGICA

Con el paso del tiempo los tecnoensambles¹¹ se han convertido en elementos cada vez más importantes en el estudio del origen, evolución e impacto del cambio climático. Una de las características principales de los tecnoensambles es su alta concentración poblacional en las áreas urbanas y la baja densidad poblacional en las áreas de servidumbre ecológica. Lo cual implica un abanico importante de actividades para garantizar su funcionamiento, que contribuyen notablemente en la generación de gases de efecto invernadero (GEI).

Solo para tener una referencia respecto a la contribución de las ciudades al cambio climático, la organización ONU-HABITAT, en su Informe Mundial sobre Asentamientos Humanos del 2011, menciona que la proporción de las emisiones de compuestos de efecto invernadero (CEI) provocadas por el hombre en las ciudades podría estar entre un 40 y un 70%, según cifras basadas en la producción. Aclara que ciertamente no existe un método globalmente aceptado para determinar la magnitud e impacto de las “emisiones urbanas”, pero es un punto de referencia válido para el análisis que se realiza a nivel local. En este sentido, en el apartado correspondiente al inventario de GEI, se presentan los resultados obtenidos para el caso de San Luis Potosí con mayor nivel de detalle.

De cara al futuro y con la finalidad de proponer alternativas viables para la mitigación y adaptación al cambio climático, se considera importante conocer las características de las principales ciudades del estado.

De acuerdo con los resultados del Encuesta Censal 2015, realizada por el INEGI, en el estado de San Luis Potosí se cuenta con una población total de 2 717 820 habitantes, lo que representa un 2,27% con respecto al dato nacional.

¹¹ Ensamble de procesamiento de energía, constituido por conjuntos articulados y reconocibles de elementos funcionalmente heterogéneos: ensambles urbano-industriales dependientes de los combustibles a los que llamamos ciudades y que funcionan como nodo central de una red de flujos de materiales y energía. Áreas de servidumbre ecológica conectados a la ciudad mediante flujos de materiales y energía obtenida a partir de combustibles fósiles o nucleares. El área de servidumbre se constituye de ecosistemas dependientes de la energía solar, ecosistemas naturalmente subsidiados, y ecosistemas dependientes de combustibles fósiles.

Los municipios del estado con mayor número de habitantes son San Luis Potosí, Soledad de Graciano Sánchez, Ciudad Valles, Matehuala, Rioverde y Ciudad Fernández. La población que habita en estos seis municipios suma 1 549 190 habitantes, que representan el 57% del total de la entidad.

Tabla 6.12 Población de los seis municipios más importantes de SLP, 2015.

Municipio	No. Habitantes
San Luis Potosí	824 229
Soledad de Graciano Sánchez	309 348
Ciudad Valles	177 022
Matehuala	99 015
Rioverde	94 191
Ciudad Fernández	45 385
TOTAL	1 549 190

No hay un criterio único para la definición y clasificación de ciudades, por lo tanto, a fin de tener un parámetro que nos ayude en la caracterización urbano-rural del estado, se consideran dos ejemplos basados en los siguientes criterios:

INEGI. Clasifica las localidades en urbanas como aquellas con una población igual o mayor a 2 500 habitantes o que sean cabeceras municipales. Mientras las poblaciones rurales son las que tienen una población menor a 2 500 habitantes.

En base a este criterio, en el 2010, el 64.5% de la población estatal, correspondiente a 1 666 785 habitantes, vive en zonas urbanas, y el 35.5%, 918 733 habitantes, en zonas rurales.

La Conferencia Europea de la Estadística de Praga (CEEP). Considera la ciudad como un aglomerado de 5 000 o más habitantes.

Reclasificando la conformación urbano-rural del estado con base a este criterio se observan que para el 2010 el 60% de la población del estado vive en zonas urbanas, correspondiente a 1 549 143 habitantes; y el 40% en zonas rurales, 1 036 375 personas.

Es importante mencionar que esto es solo una aproximación en la conformación de la población urbano-rural del estado, seguramente al incorporar otro tipo de variables como pueden ser el tipo de actividad económica que se realiza, los servicios disponibles, la infraestructura, entre otras, se puede tener una mejor caracterización.

Las zonas metropolitanas surgen como resultado de la dinámica de crecimiento de las áreas urbanas, y se caracterizan principalmente por la concentración de población, de actividades económicas y por gestiones político-administrativas fragmentadas, lo cual propicia una mayor complejidad en todos los aspectos.

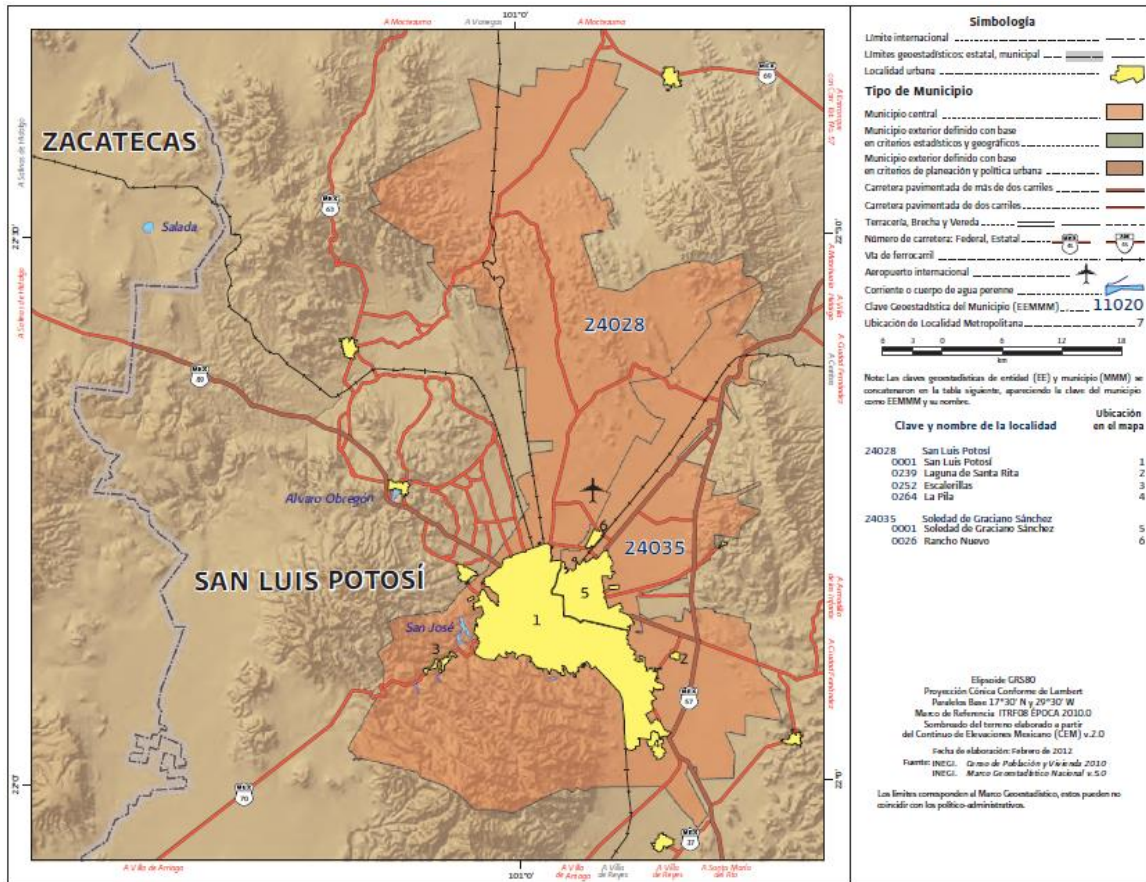
En el estado existen dos zonas metropolitanas que son:

Tabla 6.13 La zona metropolitana de San Luis Potosí-Soledad de Graciano Sánchez

Mpio	Población				Tasa de crecimiento medio anual (%)		Superficie ¹ (Km2)	DMU ² (hab/ha)
	1990	2000	2010	2015	1990-2000	2000-2010		
ZM	658 712	850 828	1 040 443	1 133 571	2,6	2,0	1 787,7	105,9
SLP	525 733	670 532	772 604	824 229	2,5	1,4	1 482,0	103,5
SGS	132 979	180 296	267 839	309 342	3,1	3,9	305,7	112,8

¹ El dato se obtuvo de las Áreas Geoestadísticas Municipales (AGEB) del Marco Geoestadístico Nacional 2010.

² Densidad Media Urbana. El dato de superficie se obtuvo de las Áreas Geoestadísticas Básicas (AGEB), de la cartografía geoestadística urbana del Marco Geoestadístico Nacional 2010 y de la Encuesta Censal 2015.



Fuente: INEGI, Marco Geoestadístico Nacional actualizado al Censo de Población y Vivienda 2010.

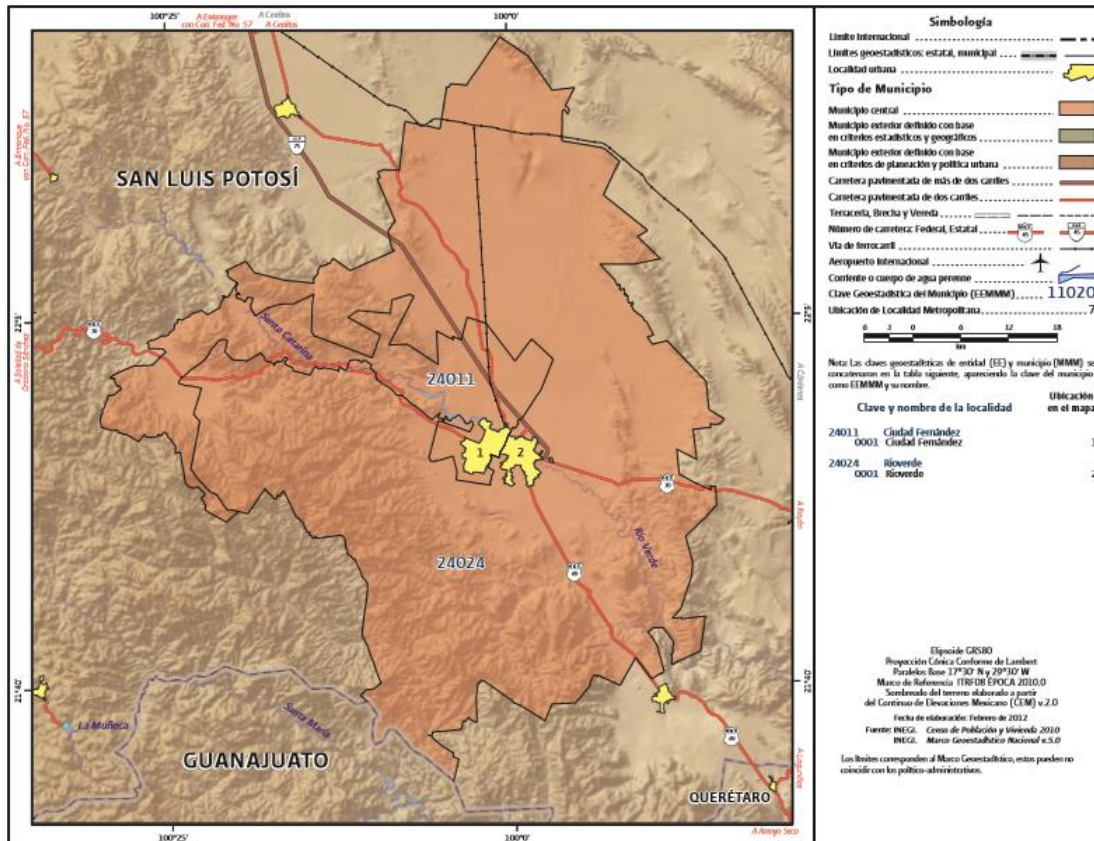
Mapa 6.57 Zona Metropolitana San Luis Potosí-Soledad de Graciano Sánchez

Tabla 6.14 ZM Rioverde-Ciudad Fernández

Mpio	Población			Tasa de crecimiento medio anual (%)		Superficie ¹ (Km2)	DMU ² (hab/ha)
	1990	2000	2010	1990-2000	2000-2010		
ZM	121 212	128 935	135 452	0,6	0,5	3 582,4	29,2
Cd. Fdz.	34 778	39 944	43 258	1,4	0,8	518,5	22,6
Rioverde	86 434	88 991	91 924	0,3	0,3	3 064,0	33,2

¹ El dato se obtuvo de las Áreas Geoestadísticas Municipales (AGEM) del Marco Geoestadístico Nacional 2010.

² Densidad Media Urbana. El dato de superficie se obtuvo de las Áreas Geoestadísticas Básicas (AGEB), de la cartografía geoestadística urbana del Marco Geoestadístico Nacional 2010.



Fuente: INEGI, Marco Geoestadístico Nacional actualizado al Censo de Población y Vivienda 2010.

Mapa 6.58 Zona Metropolitana Rioverde-Ciudad Fernández

Los tecnoensambles tienen una influencia extraordinaria en el ordenamiento de las actividades humanas y por consecuencia un peso específico gigantesco en el cambio climático regional y global.

Un impacto importante provocado por los tecnoensambles es la generación de residuos sólidos (RSU), en este aspecto, recientemente el INEGI publicó estadísticas ambientales relacionadas con la gestión de residuos sólidos urbanos (RSU) y el servicio de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento (APS). La información fue proporcionada por las administraciones municipales de todo el país, como parte del Censo de Gobiernos Municipales en 2011.

En cuestión de RSU, en el 2010 en el estado de San Luis Potosí se recolectaban 2 008 toneladas diarias, que representan 2% de la recolección nacional. En seis municipios, en los que reside más de la mitad de la población estatal, se recoge el 78% de todos los residuos:

Tabla 6.15 Recolección de RSU por municipio generadores más importantes, 2010.

Municipio	Cantidad recolectada (Ton)	Población (Hab)	Recolección per cápita diaria (kg)
San Luis Potosí	1 031	772 604	1,334
Soledad de Graciano Sánchez	105	267 839	0,392
Ciudad Valles	182	167 713	1,087
Rioverde	80	91 924	0,870
Matehuala	85	91 522	0,929
Tamazunchale	80	96 820	0,826
TOTAL	1 563	1 488 422	

La recolección promedio diaria por habitante a nivel estatal es de 0,776 kg, destacando San Luis Potosí (1,334 kg.), Ciudad Valles (1,087 kg.), Matehuala (0,929 kg) y Tamazunchale (0,826). Llama la atención el caso de Soledad de Graciano Sánchez, que, siendo parte de la zona metropolitana de San Luis Potosí y el segundo municipio más poblado en el estado, su promedio es relativamente bajo (0,392 kg.).

Otro dato importante a destacar es que solamente el 0,075% de los residuos recolectados son separados o segregados desde la fuente generadora. En la entidad solamente 4 municipios cuentan con centros de acopio en donde los materiales que se reciben son principalmente PET, papel y cartón.

Finalmente, los resultados del censo mencionan que en la entidad existen 51 sitios para la disposición final de los residuos sólidos urbanos; sin embargo, la mayoría (90%) de éstos son tiraderos a cielo abierto y el resto son rellenos sanitarios que reducen los riesgos

Todos los municipios tienen agua potable de la red pública y cuentan con servicio de alcantarillado y de éstos últimos, el 21% dan tratamiento al menos a una parte de sus aguas residuales.

En el estado de San Luis Potosí, se reportaron 311 tomas de captación de agua para abastecimiento público; de ellas, el 76% son pozos. En la siguiente tabla se muestran los municipios con mayor número de tomas:

En 12 municipios de San Luis Potosí el total, o al menos una fracción, de las aguas residuales recibe tratamiento. Esta depuración de carga contaminante se realiza en 17 plantas o sitios, donde en una tercera parte (35%) se realizan procesos de los denominados de tipo secundario o convencional, como: filtros biológicos, lodos activados y sistema dual, principalmente.

Se registraron 61 puntos de descargas de aguas residuales sin tratamiento en la entidad; el 67% de éstos se localiza en ríos y arroyos. En la siguiente gráfica se muestra el detalle:

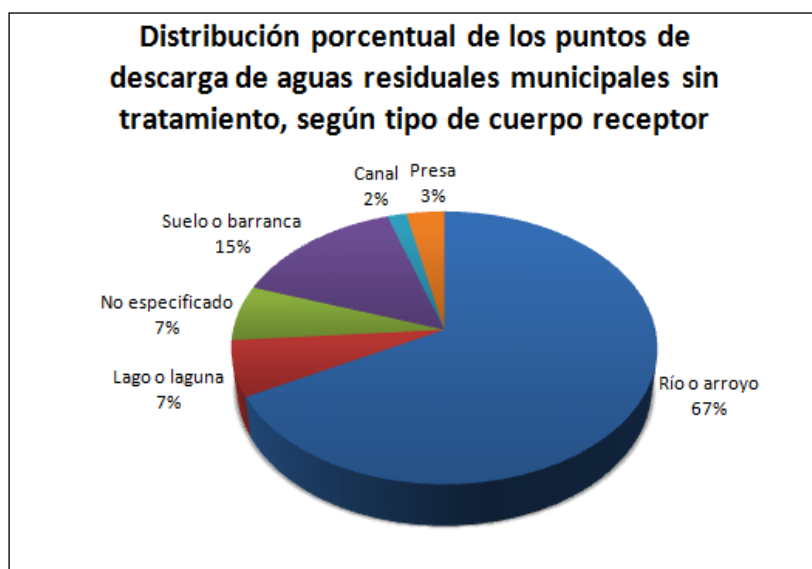


Fig. 6.66 distribución porcentual de los puntos de descarga de aguas residuales municipales, según tipo de cuerpo receptor.

Siete municipios, concentran 34% del total de puntos de descargas de aguas residuales sin tratamiento en ríos y arroyos de la entidad: Xilitla, Aquismón, Cedral, Charcas, Salinas, Tamazunchale y Villa de la Paz.

El crecimiento acelerado, y muchas veces desordenado de las áreas urbanas, representa un reto importante que no favorece el entendimiento de los impactos del cambio climático. Las evidencias que se han venido observando demuestran que se debe poner especial atención en las áreas urbanas.

Los efectos van más allá de los riesgos físicos como inundaciones debido al aumento en el nivel del mar, sequías, ciclones, etc., las ciudades podrían experimentar dificultades en el suministro de los servicios básicos a la población, provisión de energía, y como

consecuencia afectaciones a la economía relacionadas con la pérdida de la fuente de empleo, de la vivienda y la migración hacia otras zonas.

Algunos de los riesgos más representativos son los siguientes:

Impactos físicos como el calentamiento atmosférico y oceánico, cambios en la frecuencia e intensidad de las precipitaciones, el deshielo glaciar y el aumento del nivel del mar, aumento en la intensidad de los ciclones tropicales.

Impactos sobre la infraestructura de las ciudades, como son red de edificios, carreteras, agua y alcantarillado, sistemas de energía, estructuras residenciales y comerciales, rutas de transporte.

Impactos económicos, los efectos del cambio climático impactan en un momento dado los bienes económicos urbanos y posteriormente el coste de hacer negocio. Los impactos directos se presentan cuando se dañan las construcciones, infraestructuras y otros bienes. Los impactos indirectos incluyen aquellos que resultan de los atrasos y cancelaciones en transporte, comunicaciones y centrales energéticas.

Impactos en la salud pública. Episodios de calor extremo, fenómenos climatológicos graves, altas concentraciones de población en las áreas urbanas y una sociedad cada vez más envejecida, representan factores determinantes en los riesgos de salud.

Impactos sociales, los impactos del cambio climático magnifican las diferencias de género y de raza, y atacan principalmente y con más frecuencia a las minorías marginadas, mujeres y hombres, jóvenes y ancianos. En general los hogares de bajo ingreso son más vulnerables a los efectos del cambio climático.

El concepto adaptación al cambio climático hace referencia a las actuaciones emprendidas para reducir la vulnerabilidad de un sistema (un tecnoensamble, por ejemplo) ante los efectos adversos del cambio climático.

6.5 EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD DE LAS ACTIVIDADES ECONÓMICAS SECUNDARIAS DE SAN LUIS POTOSÍ A LA VARIABILIDAD Y EL CAMBIO CLIMÁTICO

Normalmente, tanto la lógica como la experiencia han indicado que las amenazas del sector industrial están dictadas por los cambios o giros económicos que se experimentan, ya sea a escala nacional o internacional; y que, en un determinado momento, dichos cambios impactarán en forma perjudicial en el bienestar de este sector. Sin embargo, existen otros factores que pueden inducir a una situación de

riesgo para este sector; uno de ellos es el cambio climático, el cual es un tema que a su vez padece, en la mayoría de los casos, de una óptica limitada, dirigida a sesgar este fenómeno como un asunto ambiental, cuando realmente éste tiene efectos significativos también en las sociedades y sus actividades económicas.

Los efectos que el fenómeno del cambio climático tiene o tendrá sobre las industrias es un tema poco explorado en los países en desarrollo; mientras que en los países desarrollados constituye un tema de gran importancia, aunque los avances se han dirigido en el tópico de estrategias de mitigación de las empresas ante el cambio climático.

Como muestra de la poca atención que el sector industrial ha tenido con respecto a su vulnerabilidad ante el cambio climático, en las mismas páginas oficiales de información en diferentes países, el tema mismo de la vulnerabilidad solo es dirigido a sectores como el agrícola, forestal, pesca y al recurso hídrico, principalmente (INE, 2013; MMA, 2013); dejando desatendido, en la gran mayoría de los casos, al sector productivo.

En México también han sido escasos los estudios que sobre este aspecto se han realizado; sin embargo, el análisis realizado por Sánchez y Martínez (1999) representa un interesante trabajo que es el punto de origen sobre el tema de la vulnerabilidad en el sector productivo en este país. Dicho estudio es el marco principal y de inicio considerado para el presente análisis, cuyo objetivo es identificar, a partir del estudio ya mencionado, el grado de la vulnerabilidad para cada uno de los subsectores industriales identificados en el estado de San Luis Potosí; e identificar los indicadores económicos con los que cada subsector participa en la economía de San Luis Potosí, para conocer de forma general el impacto económico que la vulnerabilidad podría ocasionar en este sector económico.

La metodología utilizada por Sánchez y Martínez parte de la definición de los factores que influyen en la vulnerabilidad de la industria, así como su nivel de incidencia. Un diagnóstico es el segundo paso en la metodología, el cual se basa

tanto en un escenario base, como en uno hipotético bajo cambio climático, el cual se realizó con la aplicación de los modelos GFDL-R30 y CCC.

La clasificación propuesta por el estudio en cuestión, presenta los siguientes grupos:

a) Industrias que dependen de recursos naturales sensibles al clima

En este grupo convergen los sectores: agropecuarios, forestales, marinos, agua y energía; cuyas industrias afectadas pueden ser: la alimentaria, la de bebidas y tabaco, la de celulosa y papel, la industria de la madera y la de energéticos renovables.

b) Industrias cuyo proceso es directamente sensible al clima

Los sectores que aquí se agrupan son: generación de electricidad (termoeléctrica e hidroeléctrica), extracción de petróleo y gas, industria siderometalúrgica, alimentaria y textil.

c) Industrias cuya localización es vulnerable ante el cambio climático

Esto es, las que se encuentran ubicadas en costas o riberas de ríos susceptibles a inundaciones. Aquí se agrupan los sectores: industria petrolera, petroquímica y química, siderúrgica, pesquera, centrales eléctricas, y algunos ingenios azucareros.

d) Industrias cuyos mercados son susceptibles al cambio climático global.

Este grupo hace referencia a los sectores: producción de energía e industria del aire acondicionado, vestido y bebidas.

Una vez definidos los factores inductores sobre la vulnerabilidad en la industria, se definieron, a priori, también los grados de sensibilidad climática para cada uno de los subsectores industriales. Los factores que se tomaron en cuenta para cada subsector fueron: la contribución al PIB, dependencia de recursos naturales sensibles al clima, consumo de agua, consumo de energía, entre otros.

Considerando los resultados obtenidos por el estudio base, se sustrajo la información correspondiente a los grados de sensibilidad de los diferentes sectores industriales, resaltando los existentes en el estado en cuestión

Tabla 6.16 Grados de sensibilidad climática para los sectores industriales. Extraído de Sánchez y Martínez (1999).

SECTORES INDUSTRIALES	GRADOS DE SENSIBILIDAD
INDUSTRIA PESADA	ALTA
Petroquímica	MUY ALTA
Química	ALTA
Siderúrgica	ALTA
Metalúrgica	ALTA
Minera	MEDIA ALTA
Maquinaria y equipo	MEDIA ALTA
Materiales de construcción	MEDIA ALTA
Metalmecánica	MEDIA
INDUSTRIA DE TRANSFORMACIÓN	MEDIA ALTA
Papel y celulosa	ALTA
Textil, cuero y vestido	MEDIA ALTA
Alimentaria	MEDIA ALTA
Azucarera	MEDIA ALTA
Empacadoras de hortalizas	MEDIA ALTA
Empacadoras de frutas	MEDIA ALTA
Pesquera	MEDIA ALTA
Bebidas	MEDIA
Producción de alimentos balanceados	MEDIA BAJA
Empacadora de granos	BAJA
Maderera	BAJA

Finalmente, las salidas de los modelos utilizados por Sánchez y Martínez muestran los grados de vulnerabilidad, los cuales están determinados por los cambios de temperatura y precipitación en cada región de la República Mexicana; apreciándose diferencias en los niveles arrojados por cada modelo.

Considerando la salida del modelo CCC, la vulnerabilidad en la capital de San Luis Potosí se tipifica entre Muy alta y Alta, mientras que en la zona de la huasteca es Alta, y en una parte del Altiplano, esta es Media baja.

Por otro lado, en los resultados del modelo GFDL-R30 la vulnerabilidad tanto para la huasteca como para la capital se unifica, siendo esta Media baja, mientras que, en el Altiplano, la misma es considerada como Media Alta. Este modelo propone cambios en las variables climatológicas menos severos que en el modelo anterior, razón por la cual los niveles de vulnerabilidad son de igual forma de menor nivel.

Sin lugar a dudas, uno de los sectores productivos de mayor importancia en el estado de San Luis Potosí es la industria manufacturera por su gran participación promedio del 26,26% (Figura 3) en el Producto Interno bruto del estado, colocándose por ello como el mayor contribuyente de todos los sectores productivos del estado; seguido por los sectores de Comercio y Servicios Inmobiliarios, con una contribución del 14,40% y 12,27%, respectivamente (SCNM-INEGI, 2012).

Otro dato de gran importancia que vale la pena destacar son los 107 892 empleos que este sector económico genera a nivel estatal; y que, sin duda es un factor que debe ser considerado al momento de ponderar la vulnerabilidad que el sector puede tener como efecto del cambio climático (SDE-SLP, 2010).

Contemplando exclusivamente al sector de la Industria manufacturera, se puede diferenciar y considerar la importancia de la participación de los distintos subsectores o ramas industriales que lo componen. Conocer la contribución de cada una de ellas dentro del mismo PIB manufacturero (Fig. 7.6), el número de empleos que cada una de estas genera, los productos que ofrecen, así como las materias primas que requieren para el desarrollo de sus procesos productivos, son factores importantes a considerar, ya que estos pueden influir al momento de analizar las posibles consecuencias que la vulnerabilidad de cada una de estas ramas industriales podría generar.

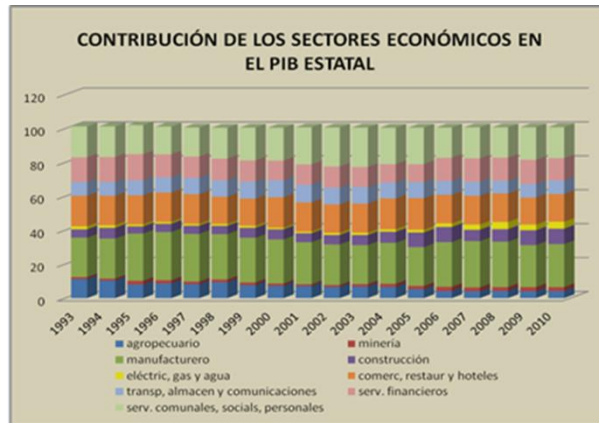


Figura 6.67 Serie histórica de la contribución de los sectores económicos en el PIB del estado de San Luis Potosí (VPC).

Siguiendo la metodología establecida se presentan las industrias más importantes, su nivel de vulnerabilidad y sus características más importantes.

1) Industria alimentaria, de las bebidas y del tabaco. Nivel de vulnerabilidad: Media Alta.

Este subsector proporciona empleo a 21 058 personas en sus 2 722 unidades económicas. Dichas unidades se dedican principalmente a la elaboración de productos de panadería y tortillas, así como la elaboración de azúcares, chocolates, dulces y similares.

Como puede apreciarse por su contribución al PIB manufacturero, por el número de empleos que genera, así como el tipo de materias primas que requiere, este subsector es de especial cuidado y atención, ya que como lo indica el estudio de Sánchez y Martínez, uno de los factores importantes a considerar en esta rama es tanto su contribución en la economía, así como el hecho de que las materias primas utilizadas en estos procesos son, en gran medida, sensibles al clima.

Aunque las empresas grandes son menos susceptibles a los cambios, dada su gran infraestructura y su sólida base económica, en ocasiones a pesar de su tamaño, la ubicación de las mismas podría ser un factor inductor de vulnerabilidad. Como muestra de lo anterior, dentro de esta rama existen cuatro ingenios azucareros en el estado, ubicados en la zona de la huasteca, la cual es una región que ha experimentado de una forma más palpable los cambios en su

clima local. Este hecho podría generar que el nivel de vulnerabilidad de estas industrias se incremente.

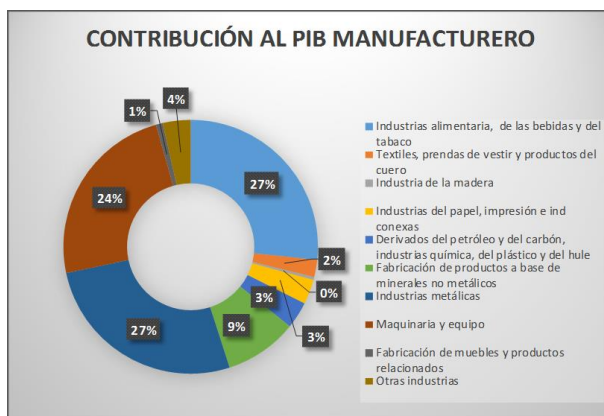


Figura 6.68 Contribución de los diferentes subsectores industriales al PIB manufacturero estatal. Elaboración propia con datos de SCNM-INEGI (2006-2010).

2) Industrias metálicas. Nivel de vulnerabilidad: Alta. Sin lugar a dudas, uno de los insumos primordiales en esta rama es el requerimiento de energía, y dada la naturaleza de sus procesos, así como el tipo de los metales de que se trate, las cantidades requeridas del recurso energético son variadas, pero por menores que estas sean, son ya de entrada considerables. El combustible de mayor consumo estatal en este rubro es el gas natural, seguido por el combustóleo y el diesel.

A esta rama, que se encuentra geográficamente centrada en la capital del estado, que genera 8 072 empleos y contribuye con el 27% del PIB manufacturero, se le atribuye una vulnerabilidad **Alta**, debido a los factores antes mencionados.

Aunque dentro de este subsector se encuentran al menos siete empresas grandes (más de 250 empleados), dedicadas ya sea a la fabricación de varillas de hierro y acero, alambre, planchas de acero o tubos de cobre, esto no mina su grado de vulnerabilidad, ya que independientemente de que sean empresas grandes, los requerimientos energéticos son elevados.

3) Maquinaria y equipo. Nivel de vulnerabilidad: Media Alta. Este subsector es el tercer mayor contribuyente del PIB de la industria manufacturera, con una participación del 24%, pero es el que ocupa el primer lugar en número de empleos

generados: 22 594, dentro del sector manufacturero. El mayor número de personas ocupadas se encuentran en las ramas de fabricación de partes para vehículos automotores, fabricación de automóviles y camiones y fabricación de otro equipo de transporte; ubicándose la gran mayoría de estas empresas en la ciudad de San Luis Potosí.

El hecho de que la gran mayoría de estas empresas sea grande y de origen transnacional, podría incidir en la reducción de su grado de vulnerabilidad; sin embargo, varias de estas empresas procuran requerimientos energéticos elevados para los procesos de secado de autopartes; además de requerir materias primas como estructuras de hierro y acero, que como se observó anteriormente, es un subsector de Alta vulnerabilidad.

4) Fabricación de productos a base de minerales no metálicos. Nivel de vulnerabilidad: Media Alta. Este subsector cuenta con 564 unidades, aporta 5 807 empleos y genera el 9% del producto interno bruto manufacturero. Como puede apreciarse de estos datos, la gran mayoría de estas empresas es pequeña, siendo la excepción las siguientes grandes empresas: tres instalaciones dedicadas a la fabricación de cemento, dos dedicadas a la fabricación de losetas cerámicas y tres orientadas a la fabricación de vidrio y envases de vidrio.

Por la naturaleza de los procesos requeridos para la fabricación de cada uno de los productos generados en esta rama manufacturera, en los que las materias primas se someten a temperaturas que van desde los 1000 a 1600 grados Celsius (INEGEI, 2002), los requerimientos energéticos son muy elevados, requiriendo para esto combustibles tales como combustóleo, que es el más utilizado en la industria del cemento, y el gas natural en la del vidrio y cerámica.

5) Industrias del papel, impresión y conexas. Nivel de vulnerabilidad: Alta. Del inventario estatal de gases de efecto invernadero, se identificaron al menos cinco grandes empresas dentro de esta rama, dedicadas principalmente a la producción de papel higiénico para tocadador, papel para periódico, papel metalizado y bolsas de papel. Su contribución al PIB manufacturero es del 3,16% y el número de empleos que genera son 5 766.

Como consecuencia tanto de la sensibilidad climática asignada por los modelos a la ciudad de San Luis Potosí, así como por los requerimientos de grandes cantidades de agua para sus procesos, y por la dependencia de materias primas que son sensibles al clima, a este subsector se le asignó una vulnerabilidad Alta.

6) Derivados del petróleo y del carbón, industria química, del plástico y del hule. Nivel de vulnerabilidad: Alta. Atendiendo al nivel asignado por los modelos sobre la capital del estado, así como a factores de suma importancia como: el alto consumo tanto de energéticos, así como a la dependencia de materia primas derivadas del petróleo, a este subsector se le atribuyó un nivel de vulnerabilidad Alta.

La contribución que este subsector realiza sobre el PIB manufacturero es del 3,42%, y el número de empleos que genera es de 7 059; ubicándose de manera muy concentrada en la capital del estado.

Atendiendo solo a las variables económicas, es evidente la importancia que el sector manufacturero tiene sobre las actividades económicas que se desarrollan en el estado de San Luis Potosí, ya que, por su aportación al PIB estatal y al número de empleos generados, este sector ocupa el primer lugar.

Por otra parte, considerando la extracción de los niveles de vulnerabilidad Media Alta asignados a cada uno de los tres subsectores con este nivel, existente en el estado del estudio de Sánchez y Martínez, valdría la pena analizar más a detalle al subsector de la Industria Alimentaria por varias razones: las materia primas requeridas en los procesos productivos requieren materia primas que son directamente provenientes del sector agrícola, el mismo que a su vez ha sido de los más afectados en el campo mexicano, dados los eventos climatológicos extremos que se han estado presentando. De hecho, ya se han realizado estudios en los que se anticipan incrementos de la vulnerabilidad en la agricultura del maíz (Conde et al., 2002), el cual es uno de los principales productos de los que depende, en gran medida, la industria alimentaria. Por otra parte, el mismo campo agrícola depende, a su vez, de otro recurso indispensable, el agua; campo en el cual también se han hecho proyecciones acerca de la vulnerabilidad en el

consumo de este recurso (Mendoza et al., 2000), tipificando una vulnerabilidad Alta para la zona a la cual pertenece San Luis Potosí.

Considerando lo anterior, realmente la vulnerabilidad atribuible al subsector de la Industria Alimentaria debería modificarse (figura 7.8) por la dependencia de este subsector con respecto a otros sectores o factores que son, sin lugar a dudas, de una vulnerabilidad Alta.

Por otra parte, algo que debe resaltarse y ser tomado en cuenta es el hecho de que algunas empresas se vuelven vulnerables, no tanto por las materias primas a utilizar, ni por su ubicación o por los recursos hídricos requeridos; más bien, se vuelven vulnerables simplemente por el hecho de que los productos que elaboran, son a su vez, un recurso o materia prima necesaria para otro proceso industrial o para alguna actividad económica. Por ejemplo, en la misma ciudad de San Luis Potosí se ubicó a una empresa dedicada a la fabricación de productos de polietileno, y para la cual sus niveles de producción se vieron tan afectados ya que sus ventas durante dos años consecutivos se redujeron sustancialmente, como consecuencia indirecta de que la actividad de sus clientes, la agricultura, resultó impactada como consecuencia de eventos climáticos extremos que afectaron las cosechas en ese periodo.

Como puede apreciarse de lo anterior, se requieren estudios para analizar a través de la cadena de valor para cada producto o rama industrial, cuales son realmente los niveles de vulnerabilidad en cada una de las etapas de dicha cadena, ya que si únicamente se considera a un producto como un elemento fraccionado y extraído de una serie de interrelaciones necesarias para su desarrollo, se perderá de vista la gran importancia, así como el efecto que otros elementos de la cadena productiva pueden contribuir en el nivel de vulnerabilidad de dicho producto o sector.

6.6 ÍNDICE DE VULNERABILIDAD

Considerando las amenazas implícitas que la variabilidad y las diferentes formas de cambio climático representan para la salud de la población potosina; dado que en el análisis multivariado de atribución las variables conductoras climáticas

alcanzaron el segundo lugar en importancia, valoradas cuantitativamente mediante un análisis multivariado, con respecto a la condición de morbilidad del Estado en el periodo 1996-2010; se calculó un índice de vulnerabilidad, para los años 2000, 2005 y 2010; a partir de las puntuaciones resultantes de las relaciones multivariadas.

Para el cálculo se utilizaron trece determinantes sociales de la vulnerabilidad a la variabilidad y el cambio climático y las tasas totales de morbilidad por municipio (componente 1), se obtuvo un índice de vulnerabilidad (iv) que mediante la aplicación del método de estratificación de Delenius y Hodges, quedó conformado por 5 estratos comprendidos en un rango de -2,0 a 2,0 de la siguiente manera: Estrato 1 = -2,0 _ -1,0, "muy baja vulnerabilidad"; Estrato 2 = -0,99 _ 0,0, "baja vulnerabilidad"; Estrato 3 = 0,01 _ 1,0, "vulnerabilidad media"; Estrato 4 = 1,01 _ 1,5, "alta vulnerabilidad"; y Estrato 5 = 1,55 _ 2,0, "muy alta vulnerabilidad" (Tabla 6.12).

Tabla 6.17 Estratos obtenidos a partir de los puntajes del primer componente de cada municipio, empleando el método de estratificación óptima de Dalenius y Hodges (1956) e interpretación de los estratos calculados.

clave mpio	mpio	clave región	índice	clave mpio	mpio	clave región	índice
48	VILLA DE LA PAZ	1	-1.753853158	8	CERRITOS	3	-0.932881136
20	MATEHUALA	1	-1.207270847	5	CÁRDENAS	3	-0.902094
7	CEDRAL	1	-1.125990455	11	CIUDAD FERNÁNDEZ	3	-0.873486341
15	CHARCAS	1	-0.618896875	27	SAN CIRO DE ACOSTA	3	-0.350962
51	VILLA HIDALGO	1	-0.562869375	24	RIOVERDE	3	-0.290068621
25	SALINAS	1	-0.540345333	23	RAYÓN	3	-0.278169722
33	SANTO DOMINGO	1	-0.458397941	52	VILLA JUÁREZ	3	-0.237901034
49	VILLA DE RAMOS	1	-0.293598333	30	SAN NICOLÁS TOLENTINO	3	-0.186786333
45	VENADO	1	-0.187814706	10	CIUDAD DEL MAÍZ	3	0.033324167
6	CATORCE	1	-0.127374194	19	LAGUNILLAS	3	0.404415588
56	VILLA DE ARISTA	1	-0.103840938	2	ALAQUINES	3	0.837336154
47	VILLA DE GUADALUPE	1	0.080772432	31	SANTA CATARINA	3	1.950419545
22	MOCTEZUMA	1	0.111048974				
44	VANEGAS	1	0.214412778				
17	GUADALCÁZAR	1	0.578414419				
clave mpio	mpio	clave región	índice	clave mpio	mpio	clave región	índice
35	SOLEDAD DE GRACIANO SÁNCHEZ	2	-1.788908421	58	EL NARANJO	4	-0.894086522
9	CERRO DE SAN PEDRO	2	-1.751382727	13	CIUDAD VALLES	4	-0.798762059
28	SAN LUIS POTOSÍ	2	-1.554623913	40	TAMUÍN	4	-0.4542848
21	MEXQUITIC DE CARMONA	2	-0.547902326	16	ÉBANO	4	-0.327775102
50	VILLA DE REYES	2	-0.444751224	42	TANQUIÁN DE ESCOBEDO	4	-0.079497805
46	VILLA DE ARRIAGA	2	-0.439570294	36	TAMASOPO	4	0.056439375
32	SANTA MARÍA DEL RÍO	2	-0.396209149	34	SAN VICENTE TANCUAYALAB	4	0.311832432
55	ZARAGOZA	2	-0.275642	53	AXTLA DE TERRAZAS	4	0.676558235
43	TIERRA NUEVA	2	-0.178250385	18	HUEHUETLÁN	4	0.797612381
4	ARMADILLO DE LOS INFANTE	2	-0.079471852	54	XILITLA	4	0.946950417
1	AHUALULCO	2	0.074943824	37	TAMAZUNCHALE	4	1.07133339
				14	COXCATLÁN	4	1.110523095
				12	TANCANHUITZ DE SANTOS	4	1.146961765
				38	TAMPACÁN	4	1.191038205
				57	MATLAPA	4	1.260078222
				39	TAMPAMOLÓN CORONA	4	1.2742538
				29	SAN MARTÍN CHALCHICUAUTLA	4	1.420591304
				41	TANLAJÁS	4	1.46384413
				26	SAN ANTONIO	4	1.690874242
				3	AQUISMÓN	4	1.910877111

ESTRATOS	VULNERABILIDAD
-2.0_-1.0	muy baja
-0.9_0.0	baja
0.1_1.0	media
1.1_1.5	alta
1.6_2.0	muy alta

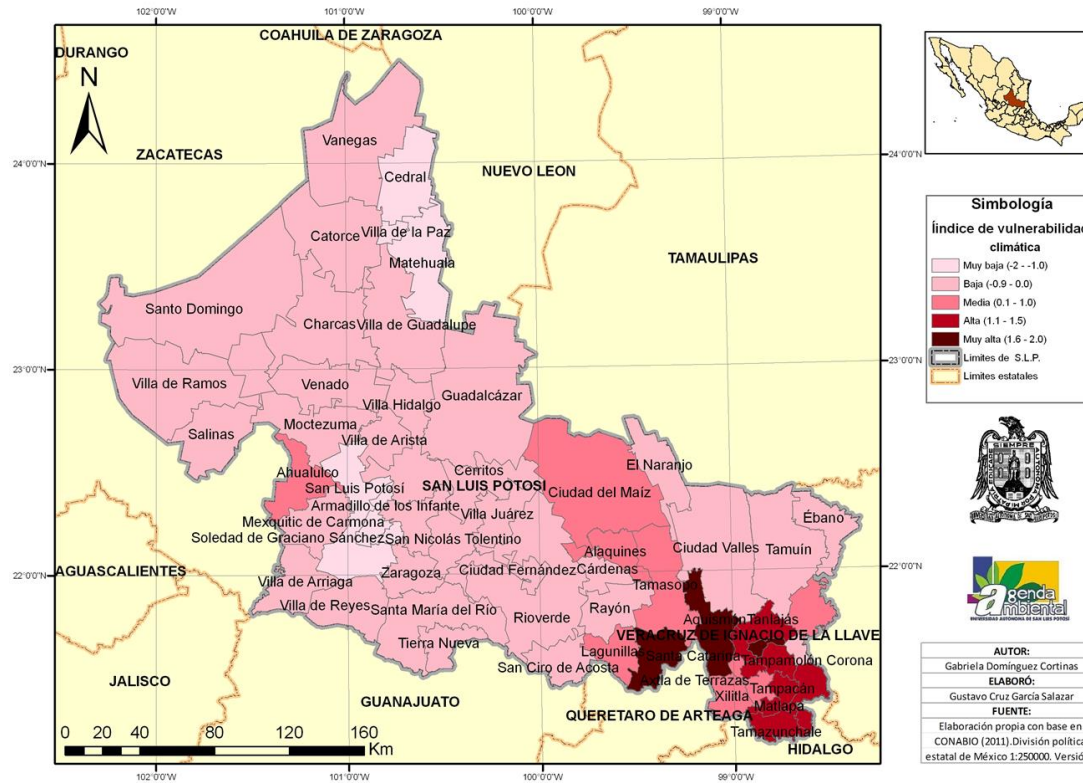
De acuerdo a esto, los municipios identificados con índices de “muy alta vulnerabilidad” en todo el Estado fueron, Santa Catarina (iv=1,95) de la Llanura de Rioverde (LLRV), Aquismón (iv=1,91) y San Antonio (iv=1,69) de la región Sierra Madre Oriental (SMO). Asimismo, la SMO y Planicie Costera Nor-Oriental (PCNO) concentran el 100% de los municipios del Estado con índices de “alta vulnerabilidad”, siendo éstos, Tanlajás (iv=1,46), San Martín Chalchicuatla (iv=1,42), Tampamolón Corona (iv=1,27), Matlapa (iv=1,26), Tampacán (iv=1,19), Tancanhuitz (iv=1,14), Coxcatlán (iv=1,11) y Tamazunchale (iv=1,07). En sentido opuesto, solo seis municipios de toda la entidad presentaron índices de “muy baja vulnerabilidad”, los cuales fueron, San Luis Potosí (iv=-1,55), Soledad de Graciano Sánchez (iv=-1,78) y Cerro de San Pedro (iv=-1,75) de la región

Serranías Meridionales, así como Matehuala (iv=-1,21), Villa de la Paz (iv=-1,75) y Cedral (iv=-1,12) de la región Bóreo Central (BC).

En resumen, la región Huasteca (SMO y PCNO) presentó un 50% de sus municipios en condiciones de “muy alta y alta vulnerabilidad” (10% y 40% respectivamente), y un 50% en condiciones de “media y baja vulnerabilidad” (25% y 25% respectivamente). En la LLRV, solo un municipio (8%) presentó una condición de “muy alta vulnerabilidad”, mientras que un 67% presentó un índice de “vulnerabilidad media”, y el 25% un índice de “baja vulnerabilidad”. En la región SME, el 91% de los municipios presentaron una condición de “baja y muy baja vulnerabilidad” (64% y 27% respectivamente), y el 9% (un municipio) presentó “vulnerabilidad media”. Finalmente, en las regiones BC y Planicie Occidental Altiplano, el 73% de los municipios tuvieron “baja y muy baja vulnerabilidad” (53% y 20% respectivamente) y únicamente el 27% tuvo “vulnerabilidad media”.

La evaluación del riesgo resultante del producto de la probabilidad de las amenazas climáticas contra el diagnóstico cuantitativo de vulnerabilidad, ambos generados a escala municipal, nos permitió identificar a las regiones y los municipios del estado de San Luis Potosí que demandan una atención prioritaria en términos de riesgos climáticos, en este punto se considera que el concepto holístico de salud utilizado incluye la vulnerabilidad de los ecosistemas y agroecosistemas por las relaciones indirectas que guarda con la salud humana a través de los servicios ecológicos. Tal es el caso de las regiones SMO y PCNO con los municipios de Ciudad Valles, Tamuín, Axtla de Terrazas, Xilitla, Huehuetlán, Tamazunchale, Coxcatlán, Tancanhuitz de Santos, Tampacán, Matlapa, Tampamolón Corona, San Martín Chalchicuautla, Tanlajás, San Antonio y Aquismón; de la LLRV con los municipios de Ciudad Fernández, Ciudad del Maíz, Alaquines y Santa Catarina; de las regiones BC y PO con los municipios de Santo Domingo, Villa de Ramos, Catorce, Villa de Guadalupe y Guadalcázar; y por último, de la SME con los municipios de Villa de Reyes y Ahualulco.

Índice de vulnerabilidad climática de San Luis Potosí por municipio



Mapa 6.59 Cartografía del índice de vulnerabilidad en San Luis Potosí, a escala municipal.

A partir del índice de vulnerabilidad climática se establecieron diferentes programas de adaptación y mitigación basados en las evaluaciones de riesgo realizadas con la finalidad de construir capacidad para absorber disturbios y mantener la integridad funcional de los sistemas socioambientales (Walker & Salt, 2012).

7. Bibliografía

- Campos Aranda, D. F. (2005). *Agroclimatología: cuantitativa de cultivos*. México, D.F.: Editorial Trillas, S.A. de C.V.
- Campos, D. A. (2005). *Agroclimatología cuantitativa de cultivos*. México: Trillas.
- Lobell, D. (2010). Crop Responses to Climate: Time-Series Models. En D. Lobell, & M. Burke (Edits.), *Climate Change and Food Security*. New York: Springer.
- Lobell, D., & Burke, M. (2010). Introduction. En D. Lobell, & M. Burke , *Climate Change and Food Security: Adapting Agriculture to a Warmer World* (págs. 03-11). London, New York: Springer.
- Comisión Intersecretarial de Cambio Climático. (2012). *México, Quinta Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*. México, México: Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático .
- Comisión Técnico Consultiva para la Determinación Regional de Coeficientes de Agostadero. (1974). *Coeficientes de Agostadero de la República Mexicana: Estado de San Luis Potosí* . México, D.F., México: Secretaría de Agricultura y Ganadería.
- CONEVAL. (2010). *Informe de Pobreza Multidimensional en México, 2008*. México, D. F., México: Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social.
- Conrad, V. (January de 1941). The variability of Precipitation. *Monthly Weather Review*, 5-11.
- Cronon, W. (1990). Modes of Prophecy and Production: Placing Nature in History . *The Journal of American History*, , 76 (4), 1122-1131.

- A. Velázquez, J. F. Maass, Díaz-Gallegos, J.R. Mayorga-Saucedo, R. P. C. Alcántara, R. Castro, R. Fernández, G. Bocco, E. Ezcurra, J. L. Palacio. (2002). Patrones y tasas de cambio de uso del suelo en México. *Gaceta Ecológica*(062), 21-38.
- Ahrens, D. C. (2013). *Meteorology Today*. Brooks/Cole.
- Benites, J. (1995). *Land conditions change indicators for sustainable land research management* (Vol. Working Paper Rpts. 5). Rome, Italy: FAO/AGLS.
- Gedzelman, S. D. (1980). *The Science and the Wonders of the Atmosphere*. United States of America: John Wiley & Sons, Inc.
- Gobierno del estado de San Luis Potosi. (27 de Agosto de 2015). Ley de Cambio Climático para el estado de San Luis Potosí. *Periódico Oficial del Estado, El Jueves 27 de Agosto de 2015*, pág. 20.
- Gobierno de la Republica. (6 de junio de 2012). Ley General de Cambio Climático. *Diario Oficial de la Federación*.
- H. Cotler, A Garrido, R. Mondragón, A. Díaz. (2007). *Delimitación de cuencas hidrográficas de México, a escala 1:250,000* (Vol. Documento técnico). México: INEGI-INE-CONAGUA.
- H. Cotler, A. Priego . (2004). El Análisis del Paisaje como base para el Manejo Integrado de Cuencas: El Caso de la Cuenca Lerma-Chapala. En H. C. (Comp.), *El manejo integral de cuencas en México*. México: SEMARNAT, INE.
- INEGI. (2015). *Anuario Estadístico de San Luis Potosi*. INEGI.
- INEGI-INE-CONAGUA. (2007). Mapa de las Cuencas Hidrográficas de México escala 1: 250 000. Cartografía en formato digital. . México: INEGI-INE-CONAGUA.
- INE-SEMARNAP, USEPA, Western Governor's Association. (1997). *Manuales del programa de inventarios de emisiones*. México.: INE-SEMANARNAP.
- INE-SEMARNAT. (2005). *Guía de elaboración y uso de inventarios de emisiones*. México: SEMARNAT.

- Instituto Mexicano del Transporte, SCT. (2014). *Inventario de emisiones en los corredores de transporte carretero en México*. San Fandila, Querétaro.: SCT.
- IPCC. (2006). *Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases efecto invernadero*. IPCC.
- IPCC. (2013). *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. (T. F. Stocker, D. Qin, G. K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen , J. Boschung , . . . P. M. Midgley, Edits.) Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA,,: Cambridge University Press.
- IPCC. (2014). *IPCC fifth Assesment on Climate Change*. Recuperado el 19 de junio de 2017, de IPCC fifth Assesment on Climate Change: www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/AR5/sy/AR5_SYR_final_front_maters.pdf
- J. Rial,, P. Cox, H. Held, N. de Noblet-Ducoudre, R. Prinn, J. Reynolds, J.D. Salas R.A. Pielke Sr., M Beniston, M. Claussen, J. Canadell. (2004). Nonlinearities, feedbacks and critical thresholds within the Earth's climate system. *Climatic Change*(65), 11-38.
- Jorge Luis Vázquez Aguirre, Manola Brunet, Phil D. Jones. (2008). Cambios Observados en los Extremos Climáticos de Temperatura y Precipitación en el estado de VeracruzUZ, MÉXICO A PARTIR DE DATOS DIARIOS.
- M.G. Turner, R.H. Gardner, R.V. O'Neill. (2001). *Landscape Ecology in Theory and Practice, Pattern and Process*. United States of America: Springer Science+Busines Media, LLC,.
- Magaña Rueda, V. O. (2011). Cambio Climático: El reto del siglo. *Investigación Ambiental*, 3(1), 63-67.
- Magaña, V. O. (enero de 2010). *Guía para Generar y Aplicar Escenarios Probabilísticos Regionales de Cambio Climático en la Toma de Decisiones*. (INE, E. Britanica, & T. d. CEDAN, Edits.) Recuperado el 06 de mayo de 2010, de www.ine.gob.mx: <http://zimbra.ine.gob.mx/escenarios/>

- Magaña, V. R. (Ed.). (2004). *Los Impactos del Niño en México*. México, D.F.: Centro de Ciencias de la Atmósfera, Universidad Nacional Autónoma de México; Secretaría de Gobernación.
- Manuel Maass, Helena Cotler. (2007). El Protocolo para el Manejo de Ecosistemas en Cuencas Hidrográficas. En *El Manejo Integral de Cuencas en México* (págs. 41-58). México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología.
- O'Brien, K. (2006). Editorial, Are we missing the point? Global environmental change as an issue of human security. *Global Environmental Change*(16), 1-3.
- Odum, E. P., & Barret, G. W. (2005). *Fundamentals of Ecology* (Fifth ed.). Belmont, CA, USA: Thomson, Brooks/Cole.
- Parmesan, C., Duarte, C., Poloczanska, E., Richardson, A. J., & Singer, M. C. (April de 2011). Overstretching attribution. *Nature Climate Change*, 1, 2-4.
- Peterson, T.C., and Coauthors. (2001). *Report on the Activities of the Working Group on Climate Change Detection and Related Rapporteurs 1998-2001* (Vols. Rep. WCDMP-47, WMO-TD 1071). Geneva, Switzerland: WMO.
- Pielke Sr., R. A., Wilby, R., Niyogi, D., Hossain, F., Dairiku, K., Adegoke, J., . . . Suding, K. (2012). Dealing With Complexity and Extreme Events Using a Bottom-Up, Resource-Based Vulnerability Perspective. En *Extreme Events and Natural Hazards: The Complexity Perspective* (Vol. Geophysical Monograph Series, págs. 345-359). American Geophysical Union.
- R. V. O'Neill, C. T. Hunsaker, S.P. Timmins, B.L. Jackson, K.B. Jones, K.H. Riitters, and J.D. Wickham. (1996). Scale problems in reporting landscape pattern at the regional scale. *Landscape Ecology*(11), 169-180.
- Rial, J. A., Pielke Sr., R., Beniston, M., Claussen, M., Canadell, J., Cox, P., . . . SALAS, J. D. (2004). Nonlinearities, Feedbacks and Critical Thresholds. *Climatic Change* (65), 11–38, .
- Rockström, J., Steffen, W., Noone, K., Persson, A., Stuart Chapin, F. I., Lambin, E., . . . Foley, J. (14th de September de 2009). Planetary Boundaries: Exploring the safe operating space for humanity. *Ecology and Society*.

- Rockström, J., Steffen, W., Persson, A., Chapin, S., Lambin, E. F., Lenton, T. M., . . . Foley, J. A. (September de 2009). A safe operating space for humanity. *Nature*, 461, 472-475.
- Roger A. Pielke, R. W. (27 de May de 2011). *Delaing with Complexity and Extreme Events Using a Borttom-up, Reourced-based Vulnerability Perspective*. (R. P. Sr, Ed.) Recuperado el 28 de octubre de 2011, de Climate Science: Roger Pielke Sr: <http://pielkeclimatesci.files.wordpress.com/2011/05/r-365.pdf>
- Ruiz, A. B., Tejada, A. M., Miranda, S. A., & Flores, R. Z. (2010). *Climatología*. Recuperado el 18 de julio de 2017, de Atlas del Patrimonio Natural, Histórico y Cultural de Veracruz: <http://cdigital.uv.mx/bitstream/123456789/9649/1/03CLIMATOLOGIA.pdf>
- Rzedowski, J. (1966). Vegetación del Estado de San Luis Potosí. *Acta Cientifica Potosina* , V(1 y 2), 289.
- Scheffer, M. (2009). *Critical Transitions in Nature and Society*. Princenton , NJ: Princenton University Press.
- Scheffer, M. (2009). *Critical Transitions in Nature and Society*. Princenton, New Jersey, USA: Princenton University Press.
- Schrödinger, E. (1975). *¿Qué es una Ley de la Naturaleza?* México: Breviarios, Fondo de Cultura Económica.
- Sampaio, G., Nobre, C., Costa, M. H., Satyamurty, P., Soares-Filho, B. S., & Cardoso, M. (2007). Regional climate change over eastern Amazonia caused by pasture and soybean cropland expansion. *GEOPHYSICAL RESEARCH LETTERS*, 34, 1-7.
- Sauer, C. (1925). The Morphology of the Landscape. *Geography*, 2(2), 19-53.
- Secretaría de Energía. (2016). <http://sie.energia.gob.mx/>. Obtenido de <http://sie.energia.gob.mx/>.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2013). *Estrategia Nacional de Cambio Climático, Visión 10 - 20 - 40* (Primera ed.). México, México: SEMARNAT.
- SEGAM. (2016). www.segam.gob.mx. Obtenido de www.segam.gob.mx.

- SEGAM. (s.f.). <http://www.segam.gob.mx/descargas/PEPGIRSUYME.pdf>.
Obtenido de <http://www.segam.gob.mx/descargas/PEPGIRSUYME.pdf>.
- T. R. Karl, N. Nicholls, A. Ghazi. (1999). CLIVAR/GCOS/WMO workshop on indices and indicators for climate extremes: Workshop summary. *Climatic Change*(42), 3-7.
- Thomas C. Peterson, Michael J. Manton. (September de 2008). Monitoring Changes in Climate Extremes: A Tale of International Collaboration. *American Meteorological Society*, 1266-1270.
- United Nations. (19 de junio de 2017). *United Nations, Framework Convention on Climate Change*. Recuperado el 19 de junio de 2017, de http://unfccc.int/portal_espanol/informacion_basica/la_convencion/historia/items/6197.php
- Wallace, J. M. (26 de marzo de 2010). *Beyond climate change: Reframing the dialogue over environmental issues*. Recuperado el 24 de marzo de 2014, de [TheSeattleTimes: http://seattletimes.com/html/opinion/2011453141_guest28wallace.html](http://seattletimes.com/html/opinion/2011453141_guest28wallace.html)
- WANG, X. L.; FENG, Y. (2007). *RhstestV2. User Manual*. Recuperado el 10 de 12 de 2010, de <http://cccma.seos.uvic.ca/ETCCDI/software.shtml>
- White, J. W., & Hoogenboom, G. (2010). Crop Response to Climate: Ecophysiological Models. En D. Lobell, & M. Burke (Edits.), *Climate Change and Food Security: Adapting Agriculture to a Warmer World* (págs. 59-83). London, New York: Springer.
- WMO. (2011). *Weather Extremes in a Changing Climate: Hindsight on Foresight*. Recuperado el 01 de mayo de 2011, de World Meteorological Organization: http://www.wmo.int/pages/mediacentre/news/documents/1075_en.pdf
- ZHANG, X.; ZWIERS, F.W.; PETERSON, T.C. (April de 2008). The adaptation imperative: is climate science ready? . *WMO Bulletin*, 2(57).